

Universidade de Évora - Escola de Ciências e Tecnologia

Mestrado em Engenharia Agronómica

Dissertação

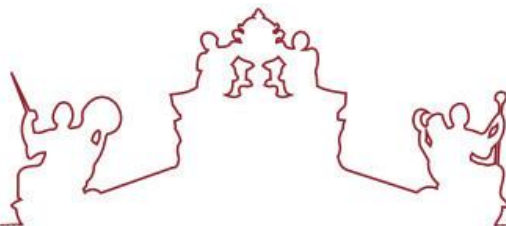
**Avaliação do efeito da correcção da acidez do solo na
produtividade e qualidade de uma pastagem sob montado**

Miguel Francisco Padeiro Martins

Orientador(es) | João Manuel Pereira Ramalho Serrano

Ricardo Joaquim Murteira de Carvalho Freixial

Évora 2020



A dissertação foi objecto de apreciação e discussão pública pelo seguinte júri nomeado pelo Director da Escola de Ciências e Tecnologia:

- Presidente | Vasco Fitas da Cruz (Universidade de Évora)
- Vogal | Mário Carvalho (Universidade de Évora)
- Vogal-orientador | João Manuel Pereira Ramalho Serrano (Universidade de Évora)

**“O Homem não é nada
além daquilo que a educação faz dele.”**

- Immanuel Kant

Agradecimentos

O desenvolvimento da presente dissertação para obtenção do Grau Mestre em Engenharia Agronómica, bem como o seu bem sucedido término, são o culminar do meu percurso académico. Portanto, aproveito este capítulo da mesma para agradecer a todos aqueles que me deram apoio e força para continuar motivado, das mais diversas formas.

Em primeiro lugar, agradeço ao Professor Doutor João Manuel Pereira Ramalho Serrano, orientador deste trabalho. Agradecer pela sua proposta do tema, pela organização e profissionalismo que sempre demonstrou e incutiu ao longo de todo este processo, e pela paciência que teve para que nunca me restasse qualquer dúvida.

Agradeço ao Professor Doutor Ricardo Joaquim Murteira de Carvalho Freixial, co-orientador deste trabalho, pela disponibilidade permanente em me ajudar, e pela amizade e respeito que sempre mostrou por mim, e pelos restantes colegas.

Quero agradecer a toda a estrutura da Universidade de Évora, que a torna numa grande “casa” do ensino, onde qualquer estudante é acolhido da melhor forma, e onde passei alguns dos melhores anos da minha vida.

Um agradecimento ao Laboratório de Nutrição e Metabolismo da Universidade de Évora, em especial, à Eng^a. Graça Machado e à D^a. Margarida Romão, por todo o apoio e disponibilidade em auxiliar na análise química das amostras de pastagem. Agradeço também ao Eng^o. Rodrigo Rodrigues e ao Sr. Custódio Alves pela ajuda prestada no ensaio e pela boa disposição que trouxeram ao grupo de trabalho.

Aos colegas, Emanuel Carreira, Ana Silva, João Maria Duarte, o meu sincero agradecimento por conseguirem manter um ambiente de trabalho descontraído e dinâmico durante todas as tarefas realizadas, quer no campo, quer no laboratório, e por toda a ajuda prestada nas vossas horas vagas.

Por fim, quero agradecer aos meus pais, à minha namorada, Ana Silva, e a toda a minha família, amigos e colegas, por nunca me terem deixado desistir, a vossa energia positiva foi crucial e sem vocês nunca teria chegado ao fim desta caminhada.

A todos, o meu profundo e sincero obrigado.

Resumo

O principal objectivo deste trabalho foi avaliar o efeito da correcção da acidez do solo no desenvolvimento e qualidade de uma pastagem no ecossistema Montado. Paralelamente foi também avaliado o efeito da copa das árvores na pastagem e o potencial de utilização de ferramentas expeditas para monitorização da pastagem. Foi definida uma parcela experimental na Herdade da Mitra com 4,15 ha de área sob coberto de azinheiras, com pH ácido ($5,4 \pm 0,3$) e pastoreada por ovinos. Em Novembro de 2017 procedeu-se à aplicação de calcário dolomítico em metade da parcela e em Dezembro de 2018 toda a parcela foi fertilizada com adubo binário (fosfato de amónio). Entre Dezembro de 2018 e Junho de 2019, a produtividade (matéria verde, MV e a matéria seca, MS) e a qualidade (proteína bruta, PB e fibra, NDF) da pastagem foram monitorizadas mensalmente e directamente (corte e análise laboratorial) em 24 pontos georreferenciados (12 na área corrigida e 12 na área não corrigida), materializados por caixas de exclusão de pastoreio. Em cada uma destas áreas, metade dos pontos de amostragem foram estabelecidos debaixo da copa das árvores (DCA) e metade fora da copa das árvores (FCA). A monitorização da pastagem foi também realizada mensalmente de forma indirecta (medida com sensores próximos). Os resultados mostraram (i) um efeito positivo da correcção do pH do solo em todos os parâmetros da pastagem (MV, MS, PB e NDF); (ii) um efeito positivo das árvores na qualidade da pastagem (PB e NDF); um efeito negativo das árvores na produtividade da pastagem (MV e MS). As medições realizadas com sensores próximos apresentaram correlações significativas com os parâmetros produtividade e qualidade da pastagem, o que mostra o potencial destas tecnologias como ferramentas de apoio à tomada de decisão do gestor agrícola.

Palavras-chave: pastagem; Montado; calcário dolomítico; efeito árvore; sensores próximos

Evaluation of the effect of soil acidity amendment on pasture productivity and quality in the Montado ecosystem

Abstract

The main objective of this work was to evaluate the effect of soil acidity amendment on pasture productivity and quality in the Montado ecosystem. At the same time, it was evaluated the effect of the tree canopy on pasture and the potential of using expedited tools for pasture monitoring. An experimental field of holm oak with 4.15 ha and acid pH (5.4 ± 0.3), grazed by sheep, was defined at Herdade da Mitra. In November 2017 dolomitic limestone was applied to half of this field and in December 2018 the entire field was fertilized with a binary fertilizer (ammonium phosphate). Between December 2018 and June 2019, pasture yield (green matter, GM and dry matter, DM) and quality (crude protein, CP and fibre, NDF) was monitored monthly and directly (cutting and laboratory analysis) at 24 sampling points (12 in the amended area and 12 in the un-amended area), materialized by georeferenced exclusion grazing cages. In each of these areas, half of sampling points were established under tree canopies (UTC) and half outside tree canopies (OTC). Pasture monitoring was also indirectly (measurements with proximal sensors) and monthly carried out. The results showed (i) a positive effect of soil pH correction on all pasture parameters (GM, DM, CP and NDF); (ii) a positive effect of trees on pasture quality (CP and NDF); a negative effect of trees on pasture productivity (GM and DM). The measurements made with sensors showed significant correlations with pasture productivity and quality, which shows the potential of these new technologies to support decision making by the agricultural manager.

Keywords: pasture; Montado; dolomitic limestone; tree effect, proximal sensors

Índice

Agradecimentos.....	ii
Resumo	iii
Abstract.....	iv
Índice de figuras	vii
Índice de quadros	ix
Lista de abreviaturas	x
1. Introdução.....	1
1.1. Objectivos	2
2. Caracterização do ecossistema agro-silvo-pastoril Montado	3
2.1. Pastagens.....	3
2.1.1. Expressão das pastagens em Portugal.....	4
2.1.2. Condicionantes à produção de matéria verde ao longo do ciclo vegetativo...	5
2.1.2.1. Condicionantes climáticas	5
2.1.2.2. Condicionantes edáficas.....	7
2.1.2.3. Influência das árvores no desenvolvimento e qualidade da pastagem ...	9
2.1.3. Melhoramento de pastagens pela introdução de leguminosas	10
2.1.4. Melhoramento de pastagens pela correcção do solo	11
2.1.5. Monitorização das pastagens	12
2.1.5.1. Avaliação directa	12
2.1.5.2. Avaliação indirecta.....	13
3. Material e Métodos	15
3.1. Caracterização do local de estudo	15
3.2. Caracterização climática.....	16
3.3. Metodologia experimental	19
3.3.1. Intervenções de correcção e fertilização do solo	19
3.3.2. Amostragem do solo	19
3.3.3. Monitorização da pastagem.....	20
3.4. Tratamento estatístico dos dados.....	21
4. Resultados e discussão	23
4.1. Monitorização do solo.....	23
4.2. Monitorização da pastagem ao longo do ciclo vegetativo	24
4.2.1. Avaliação da produtividade da pastagem.....	24
4.2.1.1. Efeito das árvores na produtividade da pastagem	25
4.2.1.2. Efeito da aplicação de calcário dolomítico na produtividade da pastagem	
.....	27

4.2.2. Avaliação da qualidade da pastagem	29
4.2.2.1. Efeito das árvores na qualidade da pastagem	30
4.2.2.2. Efeito da aplicação de calcário dolomítico na qualidade da pastagem ..	32
4.3. Monitorização da pastagem com sensores próximos	33
4.3.1. Análise da regressão entre o NDVI e os parâmetros de qualidade da pastagem	33
4.3.2. Análise de regressão entre a capacidade (CMR) e a produtividade da pastagem	35
5. Conclusões	38
6. Referências Bibliográficas	40

Índice de figuras

Figura 1. Curvas de crescimento anual, em quatro cenários climáticos diferentes, de uma pastagem de sequeiro mediterrânico (Adaptado de Efe Serrano, 2006).	6
Figura 2. Relação entre o pH da solução do solo e a disponibilidade dos elementos na mesma (Malavolta, 2006).	8
Figura 3. Carta altimétrica da parcela experimental.	15
Figura 4. Fotografia aérea do campo experimental; estão identificadas as duas parcelas e os respectivos pontos de amostragem.	16
Figura 5. Gráficos termo-pluviométricos (a) do ano agrícola 2018/19 e (b) da normal climatológica referente ao trinténio 1981-2010; dados da Estação Meteorológica da Mitra.	17
Figura 6. Gráfico (a) comparativo das temperaturas registadas no ano agrícola 2018/2019 e dados da normal climatológica e (b) comparativo das precipitações mensais acumuladas do ano agrícola 2018/2019 e do histórico climático; dados da Estação Meteorológica da Mitra.	18
Figura 7. Conjunto do sensor óptico OptRx®, com a respectiva bateria portátil utilizada como fonte de energia, e receptor de GPS Trimble GNSS GeoExplorer 6000 (modelo 88951) (Serrano <i>et al.</i> , 2016b).....	20
Figura 8. Corte de amostra de pastagem com máquina eléctrica portátil na área delimitada pelo aro metálico (Sobral, 2016).	21
Figura 9. Produtividade da pastagem em matéria verde (MV, (a)) e em matéria seca (MS, (b)), em kg/ha. Comparação entre zona debaixo da copa das árvores (linha a verde) e zona fora da copa das árvores (linha a laranja).	26
Figura 10. Produtividade da pastagem em termos de matéria verde (MV, (a)) e de matéria seca (MS, (b)), em kg/ha. Comparação entre área corrigida com calcário dolomítico (linha a amarelo) e área não corrigida (linha a azul).	28
Figura 11. Qualidade da pastagem em proteína bruta (PB, (a)) e em teor de fibra (NDF, (b)), em percentagem da matéria seca (MS). Comparação entre a área debaixo da copa das árvores (linha a verde) e área fora da copa das árvores (linha a laranja).	31

Figura 12. Qualidade da pastagem em proteína bruta (PB, (a)) e em teor de fibra (NDF, (b)), em % da MS. Comparação entre zona debaixo da copa das árvores (linha a verde) e zona fora da copa das árvores (linha a amarelo) 32

Figura 13. Relação entre o índice de vegetação (NDVI, Normalized Difference Vegetation Index) e (a) a humidade da pastagem (HP); (b) a proteína bruta (PB); (c) a fibra (NDF); (d) o índice de degradação da qualidade da pastagem (IDQP). 35

Figura 14. Correlação entre a capacitância e a produtividade da pastagem em termos de MS. 36

Figura 15. Correlação entre a condutância e a produtividade da pastagem em termos de MV. 37

Índice de quadros

Quadro 1. Importância dos prados e pastagens permanentes para a SAU de Portugal e para as diversas regiões, no ano de 2009 (Adaptado de INE, 2011).	4
Quadro 2. Estatística descritiva e inferencial dos parâmetros do solo da parcela experimental em Outubro de 2015 debaixo e fora da copa das árvores (DCA e FCA, respectivamente) e significância na comparação entre médias.	23
Quadro 3. Parâmetros de avaliação da produtividade da pastagem ao longo do ciclo vegetativo de 2018/2019.	25
Quadro 4. Parâmetros de avaliação da qualidade da pastagem ao longo do ciclo vegetativo de 2018/2019.	29
Quadro 5. Parâmetros de avaliação da pastagem recolhidos através dos sensores “ <i>Grassmaster II</i> ” e “ <i>OptRX</i> ” ao longo do ciclo vegetativo de 2018/2019.	34

Lista de abreviaturas

AP – Agricultura de Precisão

CMR – *Corrected Meter Reading*

CN – Cabeças Normais

COR - Corrigida

CTC – Capacidade de Troca Catiônica

DCA – Debaixo da Copa das Árvores

DP – Desvio Padrão

FCA – Fora da Copa das Árvores

GNSS – *Global Navigation Satellite System*

GPS – *Global Positioning System*

HP – Humidade da Pastagem

IDQP – Índice de Degradação da Qualidade da Pastagem

IV – Intervalo de Variação

MO – Matéria Orgânica

MS – Matéria Seca

MV – Matéria Verde

NCOR – Não Corrigida

NDF – *Neutral Detergent Fiber*

NDVI – *Normalized Difference Vegetation Index*

NDWI - *Normalized Difference Water Index*

PB – Proteína Bruta

SAU – Superfície Agrícola Utilizada

1. Introdução

A paisagem alentejana está, desde há muito, associada a sistemas de pastoreio extensivo, onde animais (sejam bovinos, ovinos, caprinos ou suínos), árvores (frequentemente sobreiros e azinheiras, *Quercus suber* L. e *Quercus ilex ssp. rotundifolia* Lam., respectivamente) e a pastagem coexistem num mesmo local, e onde cada um destes componentes possui um papel de relevância para a manutenção e resiliência deste ecossistema com tamanha importância para a região do Alentejo, quer a nível económico, quer a nível cultural e ambiental (Carmona Belo *et al.*, 2008).

As áreas mais significativas em Portugal onde persiste actualmente o ecossistema silvo-pastoril *Montado*, sobretudo a sul do rio Tejo, assentam em solos cuja génese deriva de rochas-mãe graníticas, solos litólicos, não húmicos pouco insaturados, normais, de granitos (Pg) e solos litólicos, não húmicos, pouco insaturados, normais, de granitos em transição para quartzodioritos (Pgm), segundo a classificação portuguesa (Cardoso, 1974), e Cambissolos de acordo com a Base de Referência Mundial para Recursos de Solos (FAO, 2006). Pela sua origem, esta classe de solos apresenta características que os tornam pouco férteis, quer pelo seu baixo teor de matéria orgânica, agravado pelas mobilizações sucessivas em sistemas de agricultura convencional, quer pela sua acidez bastante acentuada, ou ainda pela sua reduzida capacidade de troca cationica (Carvalho *et al.*, 2015).

Segundo Marcos *et al.* (2007), foram eliminadas milhões de árvores nas regiões mediterrânicas durante a segunda metade do século XX, sobretudo nas áreas agrícolas mais produtivas, no entanto hoje é conhecido o efeito benéfico que as mesmas têm para o equilíbrio entre sustentabilidade física e química do recurso solo (Guevara-Escobar *et al.*, 2007), sobretudo em zonas com declives acentuados e com Invernos muito chuvosos (Benavides *et al.* 2009). A contínua perda de capacidade produtiva, conjugada com a importância das pastagens permanentes no Alentejo, bem como a dos ecossistemas silvo-pastoris, têm levado a um esforço no sentido de promover práticas sustentáveis, que visam abrandar, ou mesmo reverter o sentido desta tendência. (Marcos *et al.* 2007). A estratégia deve passar por um equilibrado adensamento arbóreo, procurando aproveitar os efeitos positivos das árvores no microclima e nas propriedades do solo (Benavides *et al.* 2009). A recuperação dos solos agrícolas degradados deve também ser uma prioridade, começando pela correcção da sua acidez, introdução de nutrientes que se encontrem em défice, através de fertilizações, e ainda pela instalação de pastagens permanentes nas zonas de maior infertilidade (Efe Serrano, 2006).

1.1. Objectivos

O principal objectivo desta dissertação consiste em avaliar o efeito da aplicação de calcário dolomítico numa pastagem biodiversa em regime de sequeiro, tanto do ponto de vista da produtividade, como da qualidade e tendo em conta a influência da copa das árvores. Paralelamente são avaliados métodos expeditos de monitorização da pastagem, mostrando como podem constituir alternativas importantes no apoio à tomada de decisão do agricultor.

2. Caracterização do ecossistema agro-silvo-pastoril *Montado*

O Montado encontra-se sobretudo na região Mediterrânica, sendo por isso uma importante imagem paisagística e cultural da região. Trata-se de um sistema misto que conjuga a silvicultura, a produção de pastagens, na maioria das vezes permanentes e de sequeiro; e os animais que delas se alimentam. As espécies arbóreas mais frequentes são da família *Quercus*, com aptidão para a produção de cortiça, no caso dos sobreiros (*Quercus suber* L.), e para a produção de bolota, um importante complemento à nutrição animal, no caso das azinheiras (*Quercus ilex* spp. *rotundifolia* Lam.) (David *et al.*, 2013).

Na maioria das vezes, o *Montado* surge em regiões com solos com baixo potencial produtivo devido à reduzida espessura da camada arável, à prevalência de afloramentos rochosos, por vezes com declives acentuados, e onde dificilmente seria viável a introdução de outro tipo de culturas mais produtivas e rentáveis. Isto acontece principalmente porque na segunda metade do século XX, foram removidas milhões de árvores nas regiões mediterrânicas mais férteis e propícias a uma agricultura extensiva, o que levou a que este ecossistema sobrevivesse sobretudo nas zonas menos propícias a esta prática (Marcos *et al.*, 2007).

Associadas a solos pouco férteis, estas regiões possuem um clima de grande irregularidade e sazonalidade, o clima Mediterrânico, que impõe Verões quentes e secos, e Invernos onde são recorrentes eventos de elevada precipitação concentrados em curtos espaços de tempo (David *et al.*, 2013). Nestas condições, sobretudo as plantas perenes, têm que ser resistentes ao stress hídrico para garantir a sua continuidade no sistema (Paço *et al.*, 2009), sendo que nos meses de Verão, associadas à precipitação praticamente nula, as temperaturas máximas diárias ultrapassam frequentemente os 40°C (Barreto, 2015).

De acordo com Carmona Belo *et al.* (2008), cerca de 50-60% da área de pastagens permanentes em Portugal encontra-se associada à presença de sobreiros e/ou azinheiras. A coexistência das actividades pecuária e silvícola garante retornos financeiros mais precoces, comparativamente com a silvicultura por si só, o que permite não só diversificar o uso da terra, como criar um equilíbrio entre ambas as actividades, que se beneficiam mutuamente (Fenton *et al.*, 1972; Knowles, 1991).

2.1. Pastagens

Dá-se o nome de pastagem ao conjunto de culturas de plantas herbáceas, que crescem num determinado local, sendo a sua ingestão feita *in situ* pelos animais, exactamente nas condições em que estas se encontram (Moreira, 2002). Constituem a

principal fonte de alimento dos ruminantes entre o Outono e a Primavera e estão, por isso, sujeitas à sua pressão de desfoliação, pisoteio e dejectação. As pastagens tomam esse papel importante na dieta dos ruminantes devido à alta eficácia que estes animais possuem na digestão das fibras que constituem a sua biomassa (Crespo, 2011).

Tipicamente, as pastagens de sequeiro no clima Mediterrânico, são compostas por plantas anuais, cujo ciclo se inicia aquando das primeiras chuvas, no início do Outono; o seu crescimento decorre durante o período de Outono/Inverno; e a entrada na fase reprodutiva acontece na Primavera, após a qual normalmente termina o seu ciclo vegetativo, havendo produção de flor e semente, o que permite a sobrevivência destas plantas às exigências do período estival de Verão (Potes, 2011).

2.1.1. Expressão das pastagens em Portugal

As pastagens possuem, nos dias de hoje, uma considerável importância na agricultura e ordenamento do território português, ocupando aproximadamente 49% de toda a superfície agrícola utilizada (SAU), que corresponde a uma área de 1 784 597 ha num total de 3 668 143 ha (Quadro 1) (INE, 2011). O Alentejo é claramente a região do país com maior contributo para a área de prados e pastagens permanentes de Portugal, representando cerca de 63% da mesma.

Quadro 1. Importância dos prados e pastagens permanentes para a superfície agrícola utilizada (SAU) de Portugal e para as diversas regiões, no ano de 2009 (Adaptado de INE, 2011).

Regiões	Área de prados e pastagens permanentes (ha)	% da área de prados e pastagens permanentes para a SAU da região	Importância da região para a área de prados e pastagens permanentes de Portugal	% da área de prados e pastagens permanentes para a SAU de Portugal	SAU (ha)
Entre Douro e Minho	95 282	45,1%	5,3%	2,6%	211 154
Trás-os-Montes	134 614	31,1%	7,5%	3,7%	432 873
Beira Litoral	16 353	13,0%	0,9%	0,4%	125 436
Beira Interior	160 505	47,6%	9,0%	4,4%	337 031
Ribatejo e Oeste	129 055	33,0%	7,2%	3,5%	391 006
Alentejo	1 122 142	57,4%	62,9%	30,6%	1 956 508
Algarve	20 335	23,0%	1,1%	0,6%	88 297
Açores	105 790	87,9%	5,9%	2,9%	120 412
Madeira	521	9,6%	0,0%	0,0%	5 426
Portugal	1 784 597	48,7%	100,0%	48,7%	3 668 143

É previsível que a área ocupada por pastagens permanentes continue a aumentar, em resultado da perda de competitividade que se verifica ao nível do sector

cerealífero, pela redução do preço destes produtos (Carmona Belo *et al.*, 2008). Muitos agricultores portugueses vêm a sua actividade posta em risco, pelo contínuo aumento da importação a baixos preços aos grandes “*players*” internacionais. Entre os anos 1999 e 2009, a superfície de prados e pastagens permanentes aumentou 27% (391 000 ha) em Portugal, sendo que 218 000 ha dessa área estendeu-se no sub coberto do Montado, segundo dados do INE (2011).

Em síntese, a grande expressão nacional e mundial das pastagens está ligada sobretudo à pobreza dos solos onde estão instaladas. Esta, aliada a um clima de grande variabilidade, como é o caso, diminui muito as possibilidades de serem realizadas outras culturas mais rentáveis nesses locais sem que sejam necessários “*inputs*” que as tornam economicamente inviáveis (Garcia Fuentes *et al.*, 2000; Moreira, 2002).

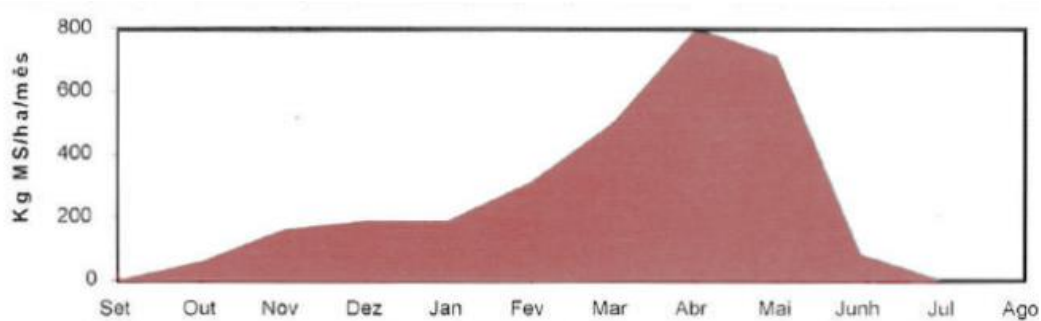
2.1.2. Condicionantes à produção de matéria verde ao longo do ciclo vegetativo

2.1.2.1. Condicionantes climáticas

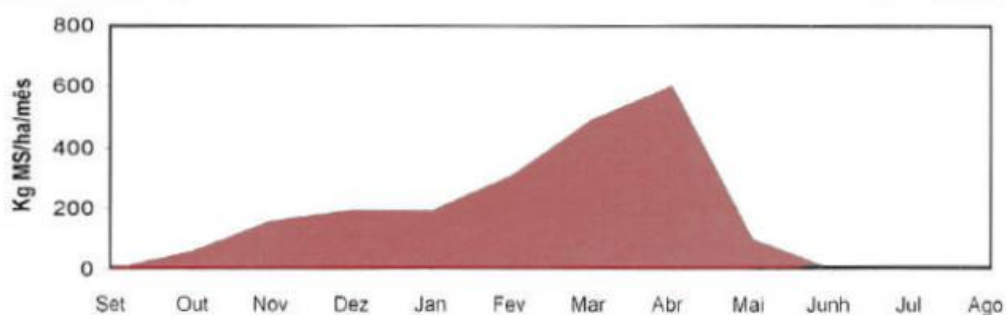
No clima Mediterrânico, o desenvolvimento e produtividade das pastagens de sequeiro dependem sobretudo da distribuição da precipitação ao longo do ano e da sua conjugação com a temperatura do ar (Efe Serrano, 2006). A precipitação concentra-se sobretudo na estação fria, sendo por vezes excessiva, e ocorre numa fase do ano em que os dias são curtos e as temperaturas baixas, o que não representa condições favoráveis para o desenvolvimento vegetativo (Feio, 1991).

Na Figura 1, estão representadas as curvas típicas de produção das pastagens em condições de sequeiro Mediterrânico em quatro cenários climáticos diferentes. Em todos eles se verifica que os dois períodos onde a produção de matéria seca é mais acentuada são o Outono e a Primavera, sendo também evidente que a grande dependência de precipitação torna os meses desde o fim da Primavera até às primeiras chuvas do Outono completamente improdutivos (Moreira, 2002).

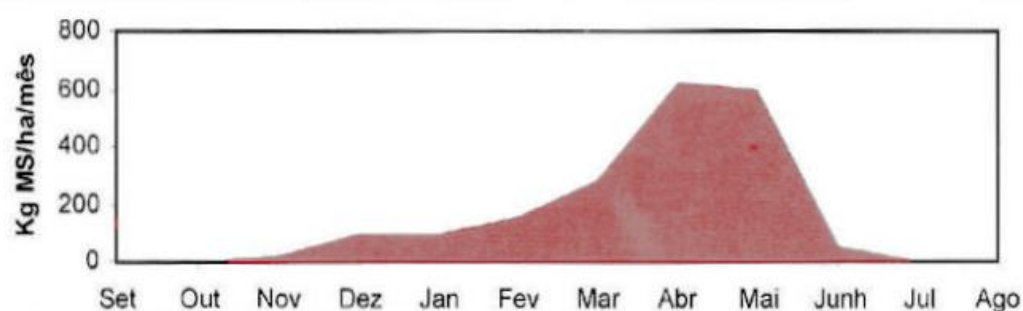
O início do ciclo anual de produção de pastagem dá-se com as primeiras chuvas de Outono. Quanto maior for a precocidade das mesmas, maior será a produção de Outono, uma vez que se acelera a germinação das sementes, numa fase onde se conjugam as temperaturas ainda relativamente altas, e a humidade no solo (cenários (a) e (b), Figura 1). Se, por outro lado, se verificar um surgimento mais tardio das primeiras chuvas, a produção de Outono ficará condicionada, afectando por isso a produção total desse ano (Efe Serrano, 2006; Barros e Freixial, 2012a).



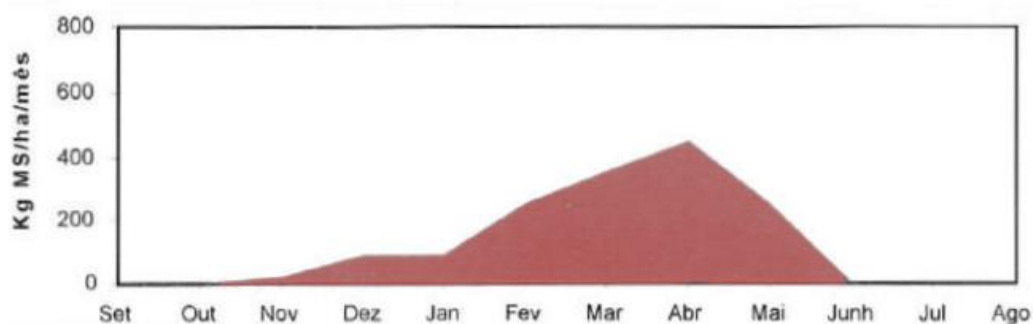
a) Cenário de Outono e Primavera húmidos (3000 kg MS / ha / ano)



b) Cenário de Outono húmido e Primavera seca (2100 kg MS / ha / ano)



c) Cenário de Outono seco e Primavera húmida (1900 kg MS / ha / ano)



d) Cenário de Outono e Primavera secos (1500 kg MS / ha / ano)

Figura 1. Curvas de crescimento anual de uma pastagem de sequeiro mediterrânico em quatro cenários climáticos diferentes (Adaptado de Efe Serrano, 2006).

Com o início do Inverno, dá-se normalmente a descida das temperaturas, o que condiciona muito o desenvolvimento das plantas, sobretudo as leguminosas, que têm menor resistência ao frio, perdendo a capacidade de crescerem a um ritmo considerado normal (Moule, 1971). Apesar de ser neste período que se concentra a maior ocorrência de precipitações, não se reúnem condições para que a pastagem ganhe uma grande exuberância vegetativa, como acontece noutras fases do ano (Feio, 1991).

De acordo com Barros e Freixial (2012a) a produção primaveril pode representar entre 65 e 85% do total da produção anual de pastagem, tornando-se a fase onde normalmente a produção de biomassa ultrapassa a capacidade de ingestão por parte dos animais, sendo por isso importante o corte, conservação e armazenamento deste excedente para garantir alimento para os animais nos períodos do ano onde a produção de pastagem é escassa ou até nula (Barros e Freixial, 2012b). Os cenários (c) e (d) (Figura 1) mostram o contraste entre Primaveras húmidas (com alguma recuperação do potencial produtivo da pastagem) e Primaveras secas, após Outonos secos (anos de fraco potencial produtivo).

2.1.2.2. Condicionantes edáficas

A predominância dos sistemas pastoris e silvo-pastoris nas regiões Mediterrâneas interiores prende-se muitas vezes com a falta de qualidade dos solos pela sua perda de potencial produtivo. Esta é acentuada pelo histórico de erros culturais repetidos durante décadas, como são exemplo as mobilizações profundas e consecutivas, que acabaram por resultar em solos delgados consequentemente com fraca drenagem e, simultaneamente, fraca capacidade de retenção de água, com baixos teores de matéria orgânica (MO), reduzida capacidade de troca catiónica (CTC) e ácidos (Serrano e Peça, 2009a).

Estas formas de utilização intensiva associadas a regiões com declives acentuados e à ocorrência de eventos de precipitação intensa, resultam em consequências devastadoras para a fertilidade dos solos, tornando-os mais susceptíveis à acidificação e à perda de espessura. O transporte de solo das camadas superficiais leva a que os horizontes aráveis se tornem delgados, criando problemas para as plantas, quer ao nível do desenvolvimento radicular, quer pela diminuição do teor de matéria orgânica, e da capacidade de drenagem (Serrano *et al.*, 2013).

A Figura 2, mostra a relação entre o pH do solo e a disponibilidade dos nutrientes para as plantas. Verifica-se que solos com a acidez próxima da neutralidade, com valores de pH (em H₂O) entre 6,0 e 7,0, estão capacitados a disponibilizar maiores quantidades de fósforo (P), muito importante para o desenvolvimento das pastagens (Serrano *et al.*, 2009b), bem como quantidades significativas de Azoto (N), Enxofre (S)

e Boro (B). A descida do pH para valores abaixo dos 5,5 pode levar a problemas de toxicidade de elementos tais como o alumínio (Al) e o manganês (Mn), limitativos do crescimento das plantas (Carvalho *et al.*, 2015), assim como a deficiência em elementos como o Cálcio (Ca), Magnésio (Mg) e Potássio (K) (Medeiros *et al.*, 2008).

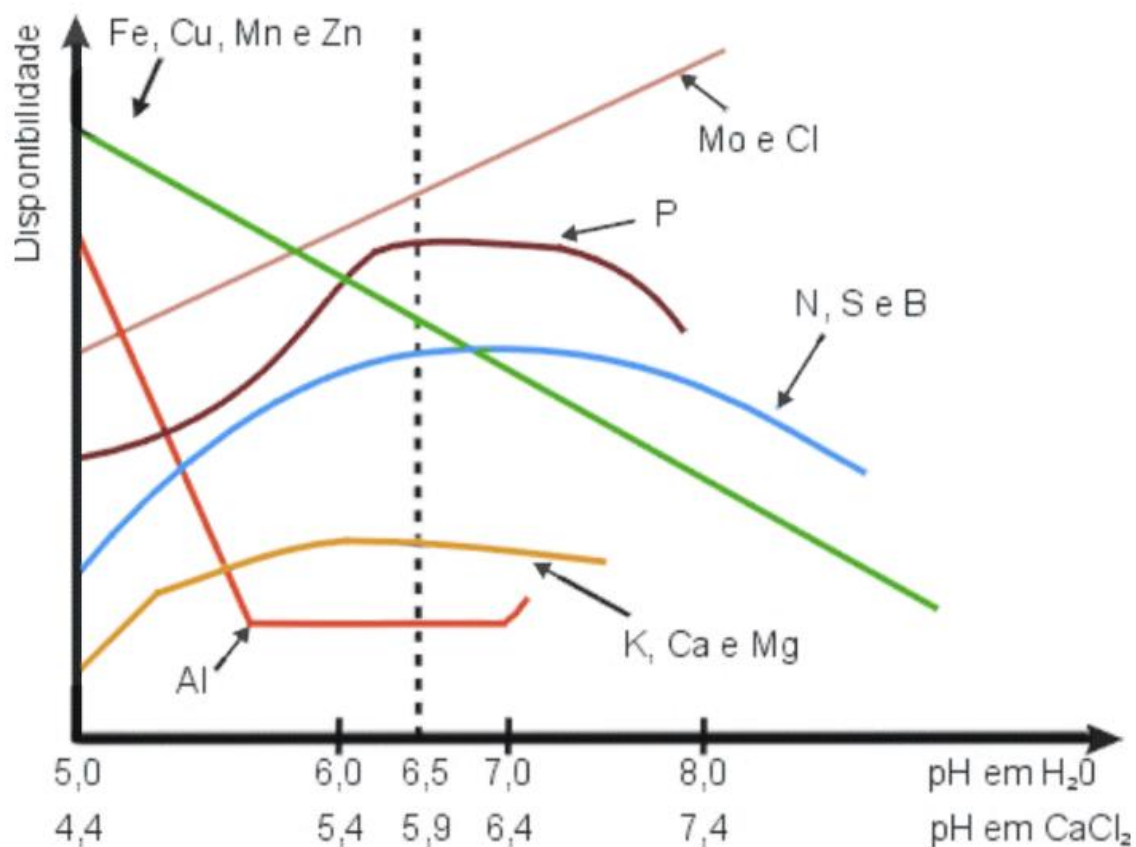


Figura 2. Relação entre o pH da solução do solo e a disponibilidade dos elementos (Malavolta, 2006).

Carvalho *et al.* (2015) demonstraram, numa cultura de trigo que a concentração de Mn nas plantas é inversamente proporcional à sua produção de matéria seca. Verificaram ainda que quanto maior for a concentração de Mg na solução do solo, menor será a concentração de Mn disponível, o que revela a importância de favorecer o rácio Mg/Mn, por exemplo através da aplicação de calcário dolomítico (que tem Mg na sua constituição). Este antagonismo iónico entre Mg e Mn foi também identificado por Marschner (1986).

A acidez dos solos acarreta ainda problemas de perda de biodiversidade. Por exemplo, as populações de bactérias de *Rhizobium*, fundamentais na fixação de azoto atmosférico pelas leguminosas, são bastante afectadas em condições de pH abaixo de 6,0 (Bonetti *et al.* 1984).

Resumidamente, as condicionantes relacionadas com o solo podem ser atenuadas, embora, na maioria das vezes, constituam processos demorados. Estão relacionadas, nos casos mais simples, com a deficiência em alguns nutrientes, os quais podem ser introduzidos na solução do solo através de fertilizantes e correctivos; ou, nos casos mais complexos, como a acidez do solo ou a própria degradação da estrutura do solo, aspectos cuja a resolução é mais complexa e será abordada no ponto 2.1.4.

2.1.2.3. Influência das árvores no desenvolvimento e qualidade da pastagem

Não é muito extensa a pesquisa publicada com o foco na influência das interações entre as árvores e a pastagem, e os respectivos efeitos na sua qualidade e produtividade (Marcos *et al.*, 2007), no entanto, são vários os autores que demonstram que a presença de árvores em campos de pastagem promove alterações ao nível do microclima do local (Percival *et al.*, 1984; Hawke e Wedderburn, 1994; Guevara-Escobar *et al.*, 2002, 2007; Douglas *et al.*, 2006). Estas resultam, por um lado, da competição entre as raízes das árvores e as raízes das plantas herbáceas e, por outro, da actividade biológica das árvores, com a deposição de biomassa no solo através da queda de folhas, ramos, flores e frutos. Este processo terá um impacto positivo na fertilidade e estrutura do solo debaixo da projecção da copa das árvores, com um incremento na matéria orgânica nestes locais, maior disponibilidade de nutrientes, maior capacidade de retenção de água e um pH ligeiramente menos ácido (Carvalho, 2001). Como a copa das árvores se torna um obstáculo para a radiação solar, esta tem também um papel positivo na redução da evapotranspiração, permitindo manter maiores teores de humidade nestas zonas (Guevara-Escobar *et al.*, 2007; Benavides *et al.*, 2009).

A produtividade das pastagens inseridas em sistemas silvo-pastoris é fortemente influenciada pela presença das árvores, que com elas competem pela luz solar, pela humidade e pelos nutrientes presentes no solo (Benavides *et al.*, 2009). Um estudo de Paciullo *et al.* (2011) mostrou mesmo que um sombreamento acima dos 35-40% afecta o desenvolvimento, sobretudo das gramíneas, que sofrem uma redução na sua taxa de afilhamento e, por conseguinte, na produção de biomassa. O efeito da copa das árvores na intercepção da luz sobre a produtividade da pastagem foi também demonstrado por Serrano *et al.* (2018a).

A competição hídrica entre as raízes das árvores e das pastagens nas regiões de clima temperado pode tornar-se um factor limitativo da produção de alimento para os animais. A falta de disponibilidade de água pode condicionar a fotossíntese uma vez que as plantas, como mecanismo de defesa, fecham os estomas, levando por isso a limitações no seu desenvolvimento, o que justifica que as plantas debaixo da copa das

árvores normalmente apresentem menores índices de área foliar (Benavides *et al.*, 2009).

Apesar da produtividade da pastagem sob a copa das árvores poder ser afectada negativamente, a sua qualidade tende a melhorar, embora esta tendência seja variável de acordo com o nível de fertilidade do solo (Jackson e Ash, 1998). Serrano *et al.* (2018a) demonstraram melhorias do teor de proteína bruta (PB) da pastagem debaixo da copa das árvores (DCA) em comparação com a pastagem fora da copa das árvores (FCA). Esta melhoria dos teores de PB debaixo da copa das árvores é justificada por Gomez-Rey *et al.* (2012) e por Pullanagari *et al.* (2013) pela redução da taxa fotossintética, que mantém as plantas fisiologicamente mais jovens, e pela diferente composição florística nestas zonas.

Em resumo, vários autores relacionam estas diferenças na qualidade da pastagem por efeito da copa das árvores com a reciclagem de nutrientes e com o aumento da fertilidade do solo debaixo da copa das árvores (Jackson e Ash, 1998; Marcos *et al.*, 2007). Ainda assim, surgem outras explicações para este efeito, tais como: variações na composição florística (Guevara-Escobar *et al.*, 2007), ou o atraso no desenvolvimento da pastagem debaixo da copa das árvores em consequência da redução da taxa fotossintética, do menor teor de humidade disponível no solo e das mais baixas temperaturas. A conjugação destes factores leva a que as plantas se mantenham fisiologicamente mais jovens no subcoberto e, por conseguinte, com mais altos níveis metabólicos durante um maior período de tempo (Benavides *et al.*, 2009; Sousa *et al.*, 2010).

2.1.3. Melhoramento de pastagens pela introdução de leguminosas

A grande limitação das pastagens de sequeiro nas condições Mediterrânicas, está relacionada com a sua irregularidade em termos produtivos, quer ao longo de um ano, quer inter-anualmente, e esta imprevisibilidade torna-se um constrangimento para a gestão e para a tomada de decisão (Cosentino *et al.*, 2013).

Face à reduzida fertilidade dos solos, as gramíneas, família dominante nestas pastagens naturais, tendem a ser muito pouco produtivas (com produções de biomassa na ordem de 1-3 toneladas MS/ha; Efe Serrano, 2006), o que se reflecte igualmente em baixos encabeçamentos animais (da ordem de 0,2-0,4 CN/ha; Simões *et al.*, 2006; Carmona Belo *et al.*, 2008). Este contexto leva a que os sistemas de agricultura Mediterrânica baseados em pastagens de sequeiro tenham associados baixos níveis de utilização de factores de produção, tanto capital, como trabalho (Potes, 2011).

No sentido de maximizar ou intensificar a produção pecuária, desde a década de 60 do século passado são estimuladas técnicas de melhoramento da produção de

pastagens (Gillingham, 2001). A melhoria da qualidade nutritiva da pastagem reduz as necessidades de suplementação dos animais nos períodos de carência alimentar, evitando a sua eventual perda de condição corporal (Cosentino *et al.*, 2013).

O melhoramento das pastagens degradadas de sequeiro deve partir da introdução de leguminosas na sua composição, não só porque se trata de uma família de plantas com grande capacidade de fixar azoto atmosférico, pela interacção simbiótica que estas mantêm com as bactérias de *Rhizobium* presentes no solo, mas também porque permitem aumentar o valor proteico da pastagem, pelo seu alto valor nutricional (Moreira, 2002; Efe Serrano, 2006; Serrano *et al.*, 2014; 2015). Esta capacidade de fixação de azoto no solo favorece não só as próprias leguminosas, como todas as espécies botânicas que se encontrem em consociação com as mesmas na composição da pastagem, bem como as culturas seguintes, no caso de se tratar de pastagens temporárias, inserida numa rotação de culturas (Crespo, 2011). O enriquecimento de pastagens pela introdução de leguminosas bem adaptadas ao meio, tem ainda um importante papel directo na economia da exploração, já que permitem que se expresse o potencial produtivo de toda a pastagem, sem que seja necessária a utilização de fertilizantes azotados (Crespo, 1995).

No que toca à produtividade, estas pastagens melhoradas podem atingir valores que variam entre 2,5 e 10 toneladas de MS/ha, o que comparativamente às pastagens espontâneas, permite aumentar o encabeçamento de 2 a 4 vezes (Simões *et al.*, 2006; Carneiro e Barradas, 2008).

Em última instância, estes aumentos na carga animal, tornarão as explorações agro-pecuárias mais rentáveis (Efe Serrano, 2006).

2.1.4. Melhoramento de pastagens pela correcção do solo

Os Cambissolos (FAO, 2006) constituem o grupo de perfis de solos mais representativo em Portugal. A sul do rio Tejo, verifica-se que estes solos, muitas vezes derivados de rochas graníticas, possuem normalmente fraca fertilidade e pH ácido, o que compromete a produtividade potencial de culturas anuais, sobretudo em anos com Invernos muito chuvosos (Carvalho *et al.*, 2015). No caso de solos sob pastagem acentua-se a tendência para acidificação, não só pela acumulação de dejectos, mas também pela extracção de nutrientes e pela lixiviação de nitratos (NO_3^-) (Guevara-Escobar *et al.*, 2007).

A base do processo de recuperação dos solos em avançada situação de degradação começa pela correcção da acidez (Efe Serrano, 2006), o que deverá ser realizado através da aplicação de calcário dolomítico (Carvalho *et al.*, 2015). Segue-se a correcção de outras possíveis carências, tais como a reduzida disponibilidade de

alguns nutrientes, através da aplicação de fertilizantes e a instalação de pastagens permanentes, processo estratégico básico de conservação do solo (Sequeira, 1997; Efe Serrano, 2006). A importância das pastagens permanentes na manutenção e protecção do solo resulta ainda da cobertura que proporcionam, o que reduz os efeitos da erosão hídrica (impede o impacto directo no solo das gotas da chuva e melhora a taxa de infiltração da água, reduzindo assim o escoamento superficial), um fenómeno com grande relevância na perda de solo nos horizontes superficiais (Lopes *et al.*, 1998).

Com a melhoria das condições químicas do solo, sobretudo se associadas à melhoria da composição florística da pastagem através da introdução de leguminosas, conseguir-se-á um aumento de produtividade de matéria verde. Esta, como alimento dos animais, entrará no ciclo de nutrientes que serão reciclados e reintroduzidos no solo via fezes e dejectos. A dinâmica resultante levará também ao aumento do teor de matéria orgânica no solo, com efeitos positivos na estrutura, na espessura, na disponibilidade de nutrientes e na capacidade de retenção de água (Oliver *et al.*, 2000). Este processo de enriquecimento do solo em matéria orgânica é lento, embora possam ocorrer aumentos de 2 a 3% num intervalo de 10 anos (Efe Serrano, 2006).

Em solos onde prevalece o carácter ácido, após a correcção do solo com calcário dolomítico, a adubação à base de fósforo torna-se muito importante. As leguminosas são especialmente beneficiadas por esta aplicação, aumentando a produção de biomassa total da pastagem (Serrano *et al.* 2012).

Segundo Potes (2010) nestas condições também é favorecido o crescimento de gramíneas, as quais têm um importante papel no aumento da produtividade da pastagem no período de Inverno devido à sua capacidade de resistência ao frio. Por outro lado, as gramíneas beneficiam do azoto fixado pelas leguminosas, o que previne a acidificação do solo (Moreira, 2002).

2.1.5. Monitorização das pastagens

2.1.5.1. Avaliação directa

Segundo Gardner (1967), uma das formas mais comuns de monitorização e amostragem da pastagem é com recurso a caixas de exclusão de pastoreio, que impedem o acesso dos animais e, por isso, reflectem a produção total da pastagem. No entanto, cada uma destas amostras representa apenas uma pequena fracção do todo, o que pode levar a que se cometam erros na estimativa da produção total da parcela (Pedreira, 2002).

A apoiar os métodos de determinação de produtividade com recurso ao corte ou outras medições directas, está a estimativa visual que, para além de estar sujeita a um nível de subjectividade considerável, requer alguma experiência e continua a ser uma

prática demorada, já que as parcelas têm que ser percorridas num trajecto que permita a observação directa da maior área possível (Riday, 2009; Smith *et al.*, 2001).

Sendo conhecida a grande variabilidade temporal e espacial existente nas pastagens Mediterrânicas, é fundamental que o seu acompanhamento seja feito de forma contínua ao longo do ciclo, e este deve ser feito não só ao nível da composição florística, mas deve integrar a avaliação do solo, o comportamento dos animais e a existência das árvores (Lee *et al.*, 2012; Lin *et al.*, 2016). Os métodos tradicionais de monitorização, além de morosos, por implicarem o corte e dependerem de processos laboratoriais, são destrutivos e dispendiosos (Handcock *et al.* 2016) o que justifica a utilização de equipamentos que permitam estimativas rápidas e com rigor aceitável a baixo custo (Porter *et al.*, 2014).

2.1.5.2. Avaliação indirecta

A sustentabilidade da gestão das pastagens, e concretamente pastagens sob Montado, fica então condicionada à utilização de técnicas e ferramentas de agricultura de precisão (AP). Estas são fundamentais para estimar a sua produtividade, analisar a sua variabilidade espacial e a sua taxa de crescimento, tornando-se indispensáveis no aumento da eficiência da utilização dos “*inputs*” (Starks *et al.*, 2006), o que permite aumentar a rentabilidade, por via do aumento da produtividade e pela redução dos custos de produção em consequência da utilização racional dos recursos aplicados (Mallarino e Wittery, 2004).

A grande dimensão das parcelas associadas a sistemas de pastoreio extensivo, sobretudo na região do Alentejo, são normalmente impeditivas do uso de sensores próximos. Por esse motivo a detecção remota apresenta-se como uma forma interessante do ponto de vista do custo/benefício e de eficiência para estimar a produtividade e a qualidade das pastagens no campo (Yule *et al.*, 2015).

A estimativa de parâmetros de produtividade e de qualidade da pastagem por detecção remota a partir de imagens de satélite baseia-se na utilização de índices diversos, nomeadamente o NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*) (Edirisinghe *et al.* 2011; Serrano *et al.*, 2018a) ou o NDWI (*Normalized Difference Water Index*) (Serrano *et al.*, 2019). O contexto particular das pastagens sob coberto de árvores (como é o caso do Montado) coloca, no entanto, dificuldades acrescidas devido à impossibilidade de acesso das imagens de satélite debaixo da copa das árvores. Por esta razão, perspectiva-se a crescente utilização de forma complementar de sensores próximos montados em plataformas móveis (veículos de todo o terreno, por exemplo) e de imagens de satélite (Serrano *et al.*, 2018a).

O sensor óptico “OptRx®” é um dos equipamentos com potencial para complementar o uso de imagens de satélite. O seu funcionamento baseia-se na medição da energia reflectida pela superfície da terra (Barreto, 2015). Uma vez que lê a reflectância em diversos comprimentos de onda do espectro, permite o cálculo de vários índices, onde se inclui o NDVI (Normalized Difference Vegetation Index). Este índice de vegetação (NDVI) varia entre -1 e 1, sendo que o valor próximo de 1 indica grande capacidade fotossintética por parte da vegetação (Serrano *et al.*, 2016a). Associar informação georreferenciada aos dados obtidos através deste sensor permite elaborar mapas de variabilidade espacial das mais diversas culturas (Serrano *et al.*, 2014). A interpretação destes mapas passa pela compreensão do princípio de reflectância das plantas consoante o seu estado sanitário ou fenológico, isto é, à medida que as plantas perdem capacidade fotossintética, resultado de stress hídrico, deficiência em determinados nutrientes ou incidência de patologias, a radiação na banda do vermelho deixa de ser absorvida como habitualmente, isto leva a que se dê maior reflexão da radiação infravermelha (Pullanagari *et al.*, 2011). A aplicação prática desta tecnologia de AP, pode ir da avaliação da qualidade nutritiva de uma pastagem até ao suporte à aplicação diferenciada de fertilizantes (Serrano *et al.*, 2014).

Outro possível complemento ao uso das imagens obtidas por satélite é a sonda electrónica de capacitância. Tem um formato de fácil transporte e utilização, sendo constituída por uma consola electrónica, onde são recebidos os sinais dos condutores existentes na haste. Nas medições, a extremidade oposta da haste fica em contacto com o solo e o seu funcionamento deve-se à existência de três camadas de materiais nesta: (i) a mais exterior, constituída por um material isolante; (ii) a camada intermédia, constituída por um tubo de alumínio; (iii) a camada interna, um fio de aço inoxidável. Esta ferramenta permite estimar a produtividade em matéria seca (MS) por unidade de área, tendo que ser previamente submetida à introdução de uma equação de calibração, para que seja lida a capacitância (CMR), resultado da diferença da perturbação de um sinal eléctrico produzido pelo circuito electrónico da sonda ao ar e da perturbação gerada pela vegetação no momento da medição (Zanine *et al.*, 2006).

3. Material e Métodos

O presente estudo insere-se num projecto que decorre desde o final de 2015 (conhecido como “ECO-SPAA” – “Monitorização do ecossistema solo-pastagem-árvores-animais” e financiado pelo Instituto de Ciências Agrárias e Ambientais Mediterrânicas), tendo algumas intervenções realizadas neste âmbito influência nos resultados obtidos.

3.1. Caracterização do local de estudo

O ensaio experimental foi realizado na Herdade da Mitra, propriedade da Universidade de Évora, numa parcela com 4,15 ha ocupada por Montado de azinho, e por uma pastagem biodiversa de sequeiro no seu subcoberto (coordenadas geográficas 38°53,1'N; 8°01,1'W). O relevo da parcela apresenta-se ligeiramente ondulado, com uma amplitude de cotas a variar entre os 220 e os 228 m (Figura 3).



Figura 3. Carta altimétrica da parcela experimental.

A parcela em estudo enquadra-se numa área onde predominam solos hidromórficos de aluviões ou coluviais de textura ligeira e aluviosolos modernos de textura ligeira; complexos litólicos não húmicos de granitos ou rochas afins com afloramentos rochosos de granito ou quartzodioritos, maioritariamente de textura franco-

arenosa e arenosa-franca, apresentando naturalmente alguma acidez e baixos teores de matéria orgânica (SROA, 1969).

A Figura 4 ilustra o campo experimental considerado neste estudo, com vedação exterior (a vermelho na figura), parque de maneio central, vedação interior (a azul na figura) e localização dos pontos de amostragem.

A vedação interior (a azul na Figura 4) subdivide o campo experimental em duas parcelas:



Figura 4. Fotografia aérea do campo experimental; estão identificadas as duas parcelas e os respectivos pontos de amostragem.

- A parcela 1, a Sudeste da vedação interior, onde foram seleccionadas 6 árvores e identificados 12 pontos de amostragem, metade debaixo da copa de cada árvore (DCA) e a outra metade fora da copa das árvores (FCA);

- A parcela 2, a Noroeste da mesma vedação interior onde também foram seleccionadas 6 árvores e identificados 12 pontos de amostragem, metade DCA e a outra metade FCA.

Os pontos de amostragem foram materializados fisicamente no terreno com caixas de exclusão de pastoreio (dimensões 0,50 m x 0,50 m x 0,50 m) em madeira e malha de rede de arame. O encabeçamento médio foi de 10 animais adultos por hectare.

3.2. Caracterização climática

A classificação climática de *Köppen* assume que a Herdade da Mitra, localizando-se na região Alentejo (sub-região Alentejo Central), apresenta um clima do

tipo Csa (Mediterrânico ou subtropical seco). É um clima temperado, com Verão seco e quente, que se encontra nas latitudes médias, com Invernos pouco frios. O mês mais seco (de Verão) apresenta uma precipitação próxima a 0 mm, e inferior a um terço da precipitação do mês mais húmido (de Inverno), e a temperatura do mês mais quente é superior a 20 °C (Andrade e Basch, 2017).

O clima Mediterrânico tem como particularidade a ausência de precipitação no Verão. É o único clima em que as temperaturas máximas anuais coincidem com os valores mínimos de precipitação. O total de precipitação anual é muitas vezes idêntico aos valores dos climas temperados, mas a concentração das chuvas na época Outono/Inverno e a falta de água nas estações quentes é francamente desfavorável para a produção vegetal (Feio, 1991).

Foram utilizados dados da Estação Meteorológica da Mitra, de forma a enquadrar e comparar o ano agrícola 2018/2019 (Figura 5, (a)), com o histórico climático da região (entre 1981-2010; Figura 5, (b)). Foram utilizados apenas dados entre Setembro e Junho uma vez que o ciclo vegetativo das pastagens de sequeiro na região termina normalmente durante o mês de Junho devido à falta de humidade no solo, e só recomeça depois das primeiras chuvas, a partir de Setembro usualmente.

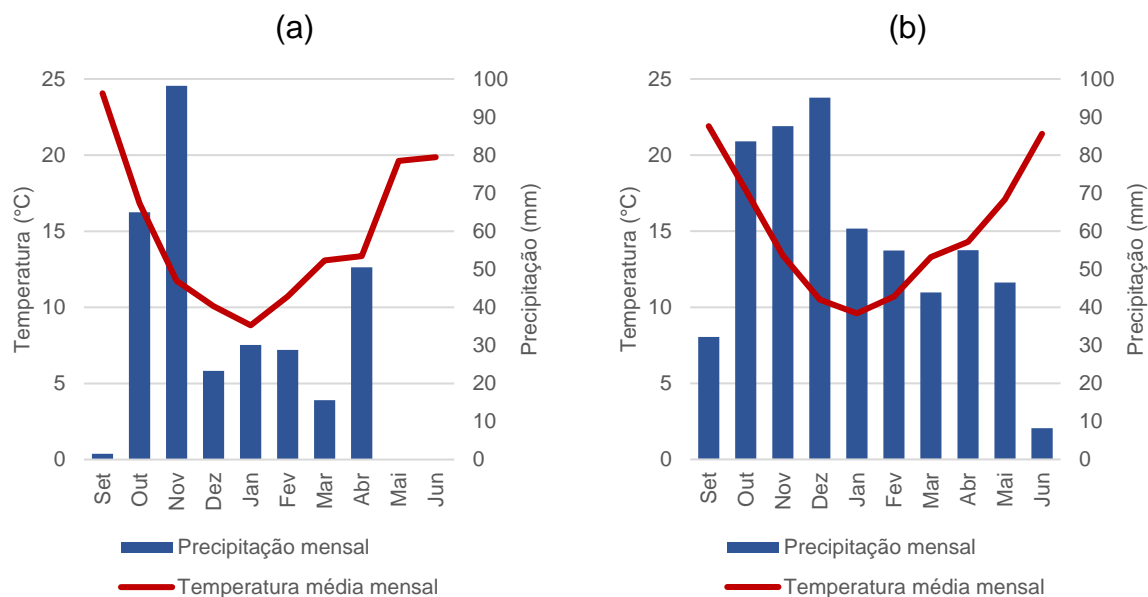


Figura 5. Gráficos termo-pluviométricos (a) do ano agrícola 2018/2019 e (b) da normal climatológica referente ao trinténio 1981-2010; dados da Estação Meteorológica da Mitra.

Para tornar o enquadramento/comparação mais intuitiva, foram cruzados os dados climáticos apresentados nos gráficos termo-pluviométricos da Figura 5, separando as respectivas variáveis, temperatura e precipitação. Na Figura 6 (a) verifica-se que as temperaturas do ano agrícola em que decorreu o presente estudo foram quase coincidentes com as temperaturas médias registadas no trinténio 1981-2010, destacando-se apenas o mês de Maio, onde a temperatura média mensal foi superior cerca de 2,5°C relativamente à média do histórico climático, e o mês de Junho, o mais frio dos últimos 19 anos (IPMA, 2019).

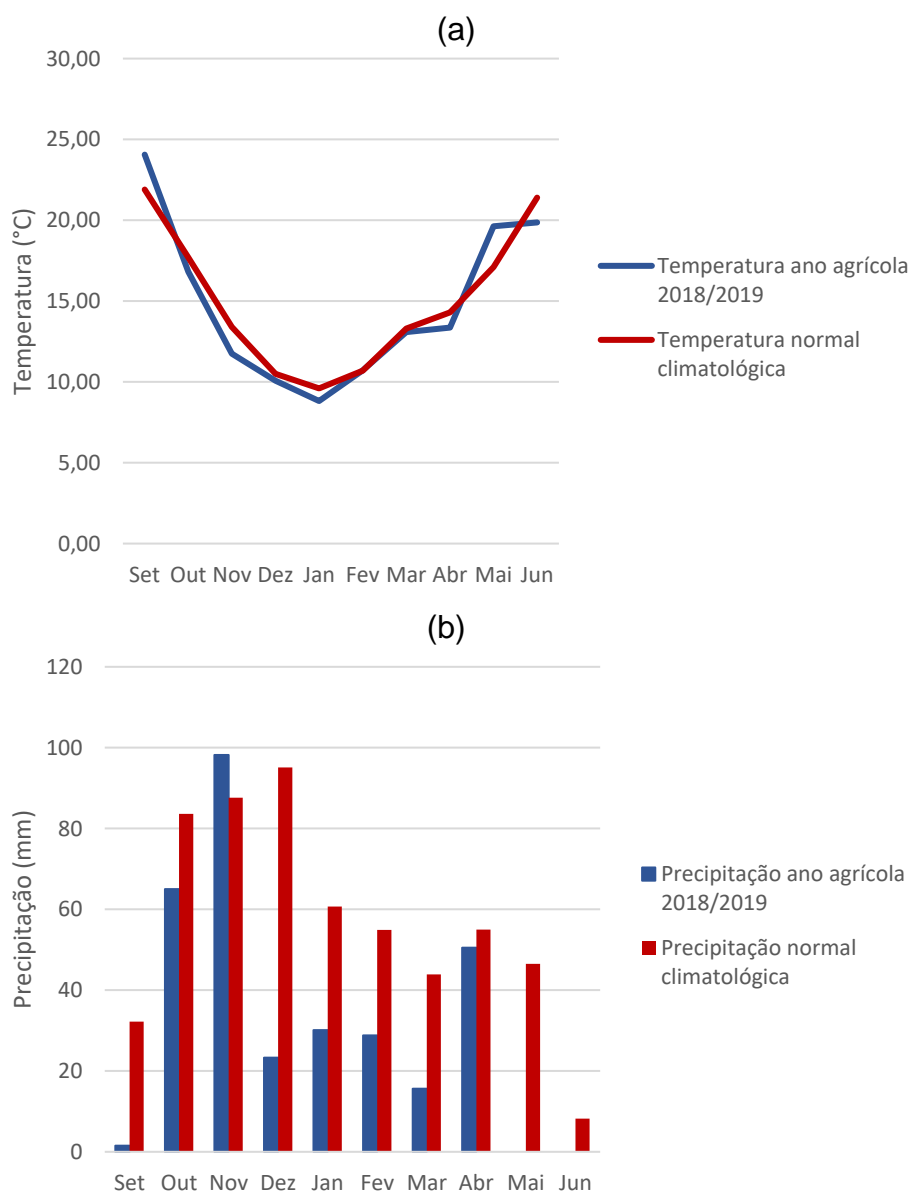


Figura 6. Gráfico (a) comparativo das temperaturas registadas no ano agrícola 2018/2019 e dados da normal climatológica e (b) comparativo das precipitações mensais do ano agrícola 2018/2019 e do histórico climático; dados da Estação Meteorológica da Mitra.

Quanto à precipitação, foi um ano bastante seco. No período de Setembro de 2018 a Junho de 2019, a precipitação acumulada foi de 313 mm, muito inferior, comparativamente à média da precipitação acumulada no período homólogo entre 1981 e 2010 (567,7 mm). Ao contrário do que é habitual, as primeiras chuvas chegaram apenas em Outubro de 2018 e nos meses de Maio e Junho de 2019 já não houve registo de precipitação, pelo que o fim do ciclo das plantas anuais em condições de sequeiro se viu antecipado pela escassa disponibilidade de humidade no solo.

3.3. Metodologia experimental

A metodologia implementada visou responder às questões inerentes aos objectivos propostos:

(i) avaliar o efeito da correcção da acidez do solo no desenvolvimento e qualidade da pastagem; (ii) avaliar o efeito da copa das árvores na pastagem; (iii) avaliar a utilização de ferramentas expeditas para monitorização da pastagem.

3.3.1. Intervenções de correcção e fertilização do solo

Em Novembro de 2017 procedeu-se à aplicação de 2000 kg/ha de calcário dolomítico na parcela 1 (Figura 4).

Em Dezembro de 2018 foi realizada em toda a área experimental (parcelas 1 e 2, Figura 4) uma adubação à base de fosfato amoniacal (18-46-0), com uma aplicação de cerca de 100 kg/ha.

3.3.2. Amostragem do solo

Em Outubro de 2015, nos pontos de amostragem, procedeu-se à recolha de amostras de solo na camada superficial do perfil (0 – 0,30 m de profundidade) através de uma sonda meia-cana e um maço. As amostras foram posteriormente processadas em laboratório. Depois de desidratadas ao ar foram submetidas à determinação da textura (areia grossa, areia fina, limo e argila) num sedimentógrafo. Na fracção com diâmetro inferior a 2 mm procedeu-se à determinação do pH, da matéria orgânica, do azoto total (N_t), do fósforo (P_2O_5), do potássio (K_2O), do magnésio (Mg) e do manganês (Mn) disponíveis. Mais detalhes sobre os métodos de análise podem ser encontrados em Serrano *et al.* (2017).

Nova recolha de amostras de solo para determinação do pH foi realizada em Março de 2018, cerca de 4 meses após a aplicação do calcário dolomítico, tendo em vista avaliar a evolução deste parâmetro na parcela sujeita a correcção de acidez.

3.3.3. Monitorização da pastagem

As actividades de monitorização foram realizadas entre Novembro de 2018 e final de Maio de 2019, tendo acompanhado todo o ciclo da pastagem, desde o início da estação chuvosa (Outono), até ao declínio das plantas anuais que constituíam a pastagem (final da Primavera).

Em cada ponto e em cada momento de amostragem, foram efectuadas sucessivamente as seguintes recolhas:

- de capacitância (CMR), através da sonda *Grassmaster II*, procedendo-se a 10 medições com a sonda em cada área de amostragem;
- do índice de vegetação, NDVI (“Normalized Difference Vegetation Index”), recorrendo ao sensor óptico activo OptRx®, desenvolvido pela empresa americana “Ag Leader” (2202 South River Side Drive Ames, Iowa 50010, EUA); este sensor foi utilizado associado a um receptor GPS de alta precisão Trimble GNSS GeoExplorer 6000, modelo 88951, criado pela empresa Trimble (GmbH, Am Prime Parc 11, 65479 Raunheim, Alemanha), e a uma pequena bateria portátil (Figura 7); foram realizadas cerca de 120 medições (2 minutos) com este sensor em cada área de amostragem;



Figura 7. Conjunto do sensor óptico OptRx®, com a respectiva bateria portátil utilizada como fonte de energia, e receptor de GPS Trimble GNSS GeoExplorer 6000 (modelo 88951) (Serrano *et al.*, 2016a).

- de amostras de pastagem, com uma máquina eléctrica portátil, até cerca de 1 cm acima do nível do solo, na área 0,1 m² delimitada por um aro metálico com dimensões 0,25 m × 0,40 m (Figura 8); as amostras foram depois colocadas em sacos de plástico, devidamente identificados com o código do ponto de amostragem respectivo, sendo submetidas a análise no Laboratório de Nutrição e Metabolismo da

Universidade de Évora. Depois de pesadas (em verde), desidratadas numa estufa a 65°C durante 72 h, e novamente pesadas, determinou-se a produtividade em kg/ha em matéria verde (MV) e matéria Seca (MS), respectivamente.

As amostras desidratadas foram submetidas a análises standard (AOAC International, 2005) para determinação da proteína bruta (PB) e da fibra (NDF, “Neutral Detergent Fiber”), ambos expressos em percentagem da MS.



Figura 8. Corte de amostra de pastagem com máquina eléctrica portátil na área delimitada pelo aro metálico (Sobral, 2016).

3.4. Tratamento estatístico dos dados

Os dados recolhidos foram submetidos a análise em “Excel” de estatística descritiva com apresentação, para cada parâmetro, da média, do desvio padrão (DP) e do intervalo de variação (IV), em cada um dos tratamentos (corrigido *versus* não corrigido; DCA *versus* FCA), no conjunto dos respectivos pontos de amostragem. Foram também elaborados gráficos que permitem, por um lado, uma leitura mais intuitiva dos dados recolhidos e, por outro, a correlação entre as variáveis. Ainda neste software,

O tratamento inferencial dos dados, consistiu na análise de variância (ANOVA) através do *software* “MSTAT-C”, onde foram utilizados graus de significância de 95% e 90% ($p < 0,05$ e $p < 0,10$, respectivamente), para avaliar o efeito de cada um dos tratamentos no desenvolvimento quantitativo e qualitativo da pastagem. Procedeu-se à separação de médias pelo teste de separação múltipla de médias de “DUNCAN”. As

análises de regressão foram realizadas através do “Excel”, de maneira a avaliar o ajustamento dos dados a uma linha de tendência.

4. Resultados e discussão

4.1 Monitorização do solo

O solo possui importantes funções de suporte para o desenvolvimento vegetal. Alguns dos seus constituintes são a fonte de nutrição das plantas, que conduzidos pela água, são levados até às raízes e daí distribuídos por toda a planta.

As características do solo diferem sobretudo pela diversidade de material originário (rocha-mãe) existente na superfície terrestre. Por outro lado, é o uso do solo que leva a que os seus atributos se alterem ao longo dos anos.

No Quadro 2 é apresentado o resultado da análise estatística descritiva (média e desvio padrão) dos parâmetros do solo da parcela experimental em Outubro de 2015 (antes da aplicação de calcário dolomítico), debaixo e fora da copa das árvores (DCA e FCA, respectivamente). Os resultados mostram maior fertilidade DCA do que FCA, com diferenças significativas nos teores de MO, azoto total (N_t), potássio (K_2O), fósforo (P_2O_5), magnésio (Mg) e manganês (Mn). O pH e a textura não apresentaram diferenças significativas.

Quadro 2. Estatística descritiva e inferencial dos parâmetros do solo da parcela experimental em Outubro de 2015 debaixo e fora da copa das árvores (DCA e FCA, respectivamente) e significância na comparação entre médias.

	DCA	FCA	Probabilidade
Parâmetro	Média±DP	Média±DP	
Areia grossa, %	49,0±2,4	47,8±2,6	ns
Areia fina, %	31,8±1,5	32,6±2,4	ns
Limo, %	9,8±1,5	10,3±1,8	ns
Argila, %	9,4±1,0	9,3±1,7	ns
MO, %	3,1±0,5	1,7±0,4	0,0000
pH	5,4±0,4	5,3±0,2	ns
N_t , %	0,2±0,0	0,1±0,0	0,0001
P_2O_5 , mg kg ⁻¹	117,7±77,0	68,2±29,5	0,0471
K_2O , mg kg ⁻¹	359,3±112,8	180,5±91,9	0,0012
Mg, mg kg ⁻¹	115,0±38,8	76,3±40,9	0,0493
Mn, mg kg ⁻¹	100,0±45,7	52,8±30,1	0,0131

DP – Desvio padrão; IV – Intervalo de variação; MO – Matéria Orgânica; ns - Não significativo.

O problema da acidez dos solos está normalmente associado à toxicidade do Mn (Carvalho *et al.*, 2015). O resultado é a redução do potencial produtivo dos solos, condicionando, no caso das pastagens biodiversas, a sua composição florística. A predominância de espécies tolerantes à presença deste elemento, face a outras espécies, torna estas pastagens normalmente menos interessantes do ponto de vista

agronómico e nutricional (Carvalho, *et al.*, 2015). Concretamente no solo estudado, o teor de Mn é excessivo. Pode verificar-se pela leitura do Quadro 2, que a razão Mg/Mn é semelhante nas situações DCA e FCA, sendo em ambas muito baixa, próxima de 1. Daí resulta a necessidade de acrescentar Mg (presente na constituição do calcário dolomítico) à solução do solo.

Na avaliação do solo realizada em Março de 2018, após a aplicação de calcário dolomítico (em Novembro de 2017), o valor médio do pH aumentou para 5,6, tanto DCA como FCA. Esta variação do valor do pH da solução do solo constitui um sinal positivo no que respeita à disponibilidade de nutrientes para as plantas, como comprova a Figura 2 (Malavolta, 2006). De acordo com Efe Serrano (2006), a correcção da acidez do solo é um processo lento e gradual, pelo que esta tendência positiva deverá ter um impacto mais significativo na melhoria das condições do solo no ano agrícola 2019/2020, dado que nova aplicação de calcário dolomítico foi realizada em Junho de 2019.

4.2 Monitorização da pastagem ao longo do ciclo vegetativo

A produção de pastagem, quando acompanhada de uma correcta monitorização, permite prever modelos de produção que darão a possibilidade de criar dietas equilibradas e gerir os parques disponíveis para pastoreio de uma forma mais sustentável e racional para a exploração agrícola, sobretudo quando baseada em sistemas de produção extensivos (Demanet *et al.* 2015).

4.2.1 Avaliação da produtividade da pastagem

O Quadro 3 apresenta o resultado da análise estatística descritiva (média, desvio padrão e intervalo de variação) dos parâmetros utilizados para monitorizar a produtividade da pastagem nos 24 pontos e em cada data de amostragem ao longo do ciclo vegetativo.

A produtividade das pastagens de sequeiro é influenciada pelo ano agrícola, em termos de distribuição da precipitação (Efe Serrano, 2006; Serrano *et al.*, 2013). Os resultados obtidos representam a produtividade num ano com reduzida precipitação tanto no Inverno como na Primavera (ver Figura 5), quando comparada com a distribuição normal de precipitação na região, no entanto, a curva de produção segue o padrão típico das pastagens de sequeiro Mediterrânicas: crescente desde a fase final do Inverno até ao final da Primavera. Em termos de matéria verde (MV), o pico de produção acontece em Março, mas pelo grande teor de humidade da pastagem (HP) nesse período, esses valores só se reflectem no pico de produção em termos de matéria seca (MS) no final da Primavera (no final de Maio).

O valor de HP resulta da diferença entre o valor de MV e MS, traduzido em percentagem. A grande diferença entre o valor de HP obtido no dia 3 de Maio e o dia 27 do mesmo mês (tendo passado de 71,6% para 35,9%), mostra a forma abrupta como evoluiu o ciclo vegetativo em resultado do final precoce das chuvas primaveris.

Quadro 3. Parâmetros de avaliação da produtividade da pastagem ao longo do ciclo vegetativo 2018/2019.

Parâmetro	Datas	Média±DP	IV
MV, kg/ha	12/12/2018	7328±2933	[2900-15990]
	05/02/2019	7371±3821	[1700-15000]
	12/03/2019	12475±8484	[1800-34900]
	03/04/2019	11058±8252	[1700-35700]
	03/05/2019	9996±4385	[3400-19100]
	27/05/2019	4749±2655	[900-8400]
MS, kg/ha	12/12/2018	1038±431	[400-2500]
	05/02/2019	1467±629	[500-3400]
	12/03/2019	1833±848	[600-4100]
	03/04/2019	2575±1638	[500-7900]
	03/05/2019	2863±1371	[1100-5600]
	27/05/2019	3067±1807	[500-6900]
HP, %	12/12/2018	85,5±2,9	[77,8-90,8]
	05/02/2019	78,0±7,5	[58,5-87,8]
	12/03/2019	82,4±6,2	[66,7-88,7]
	03/04/2019	73,8±6,4	[58,8-82,6]
	03/05/2019	71,6±4,9	[61,8-79,5]
	27/05/2019	35,9±13,5	[5,0-64,3]

MV – Matéria verde; MS – Matéria seca; HP – Humidade da Pastagem; DP – Desvio padrão; IV – Intervalo de variação.

4.2.1.1 Efeito das árvores na produtividade da pastagem

A presença de árvores constitui um dos grandes factores de variabilidade espacial de produtividade das pastagens Mediterrânicas sob montado (Carvalho, 2001; Marcos *et al.*, 2007; Benavides *et al.*, 2009; Serrano *et al.*, 2018a). Nos casos em que a fertilidade do solo se encontra muito degradada, estas podem mostrar uma influência positiva na produtividade, já que os factores limitantes não se relacionam com a competição entre a árvore e a pastagem, mas sim com as características físico-químicas do solo, normalmente acidez excessiva, e baixos teores de matéria orgânica nas zonas fora da copa das árvores. No entanto, no ensaio em causa, por se tratar de uma pastagem permanente estabelecida há largos anos, verificou-se um efeito negativo das árvores sobre a produtividade da pastagem, o que está em linha com os resultados de Peri *et al.* (2007).

A Figura 9 mostra a evolução da produtividade média da pastagem, durante o ano agrícola 2018/2019, nas situações DCA e FCA. No mês de Dezembro as diferenças de produtividade não foram significativas entre as duas situações, sendo que este período do ano coincide com o Inverno, em que as baixas temperaturas são desfavoráveis ao desenvolvimento das plantas. No entanto, foram encontradas diferenças significativas a partir do mês de Fevereiro e até ao final do mês de Maio. Estas diferenças verificaram-se tanto em termos de matéria verde (MV), como de matéria seca (MS), sendo conclusivas de que a produtividade nas zonas DCA fica fortemente limitada relativamente às zonas FCA, o que confirma os resultados de Benavides *et al.* (2009) e Serrano *et al.* (2017, 2018a).

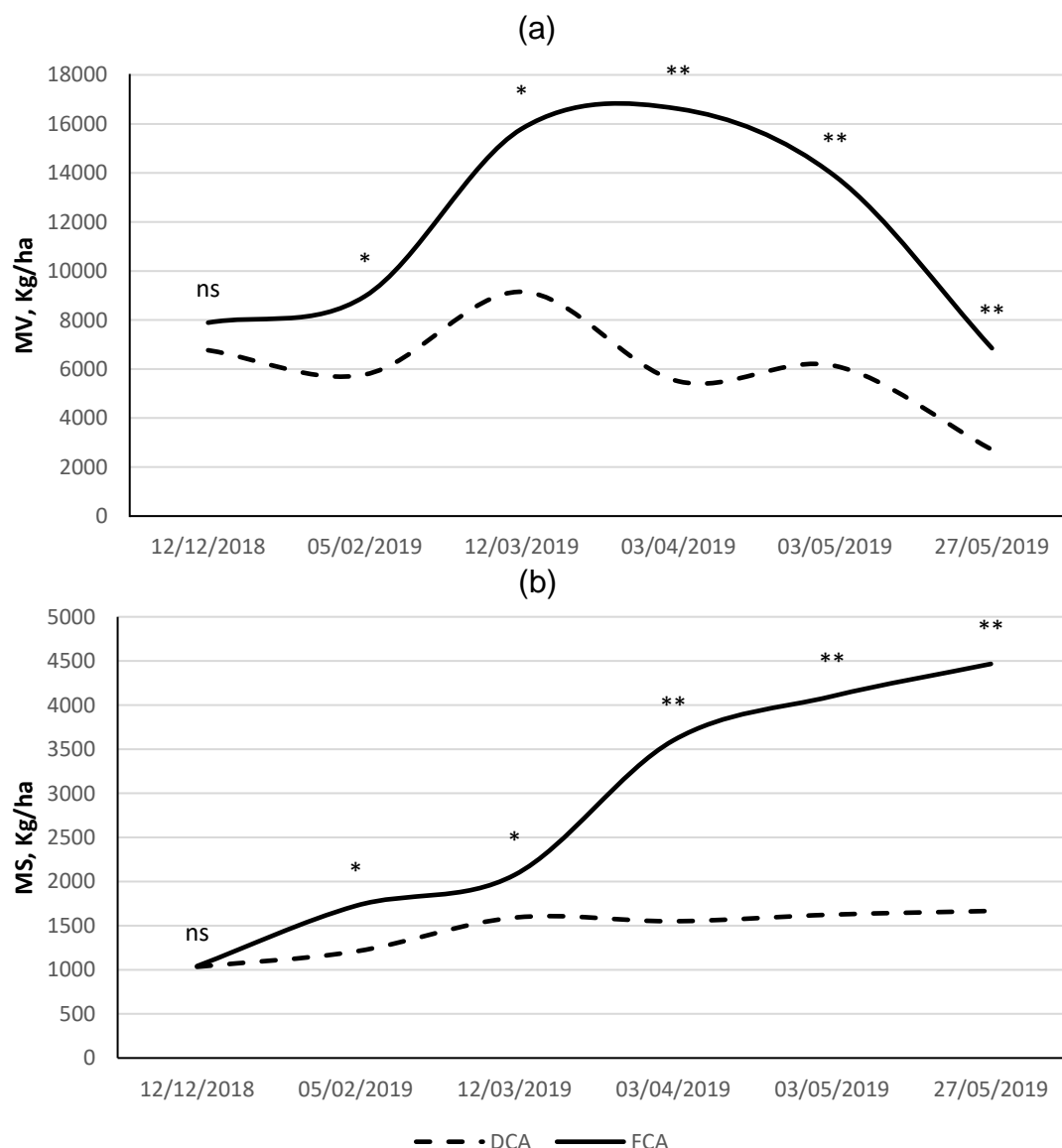


Figura 9. Produtividade da pastagem em matéria verde (MV, (a)) e em matéria seca (MS, (b)), em kg/ha. Comparação entre zona debaixo da copa das árvores (linha descontinua) e zona fora da copa das árvores (linha contínua).

ns – Diferenças não significativas; * - Diferenças significativas ($p < 0,05$); ** - Diferenças muito significativas ($p < 0,01$); DCA – Debaixo da copa das árvores; FCA – Fora da copa das árvores

A produtividade da pastagem em termos de MV (Figura 9, (a)), nas zonas FCA, segue uma evolução que apresenta um máximo, neste caso, em Abril, apresentando a partir daí uma redução acentuada. No que toca à produtividade em termos de MV nas zonas DCA, apesar de uma tendência semelhante à que se verifica FCA, com um máximo neste caso no início de Março, evidencia maior variabilidade entre datas de amostragem.

A produtividade da pastagem em termos de MS (Figura 9 (b)), na situação FCA, aumenta gradualmente durante todo o ciclo, apresentando um acréscimo muito significativo entre Março e Abril, o que traduz o efeito da subida de temperatura (ver Figura 5). Na situação DCA a produtividade em termos de MS aumenta gradualmente até meados de Março, mantendo-se depois estável em valores próximos de 0 kg/ha até ao final de Maio. Verifica-se, portanto, que, ao contrário da MV, os efeitos positivos do aumento das temperaturas na Primavera quase não afectaram a produtividade em termos de MS. O efeito das árvores é então significativo tanto na produção de MV como de MS ao longo de toda a Primavera. Estes resultados são corroborados pelos estudos de Andrade *et al.* (2002) e Carvalho *et al.* (2002), que explicam esta diferença pela perda de capacidade das plantas da pastagem se desenvolverem como consequência da competição hídrica destas com as árvores, sobretudo numa fase de reduzido teor de humidade no solo.

4.2.1.2 Efeito da aplicação de calcário dolomítico na produtividade da pastagem

A Figura 10 apresenta graficamente a evolução da produtividade da pastagem (kg de MV e de MS por hectare) nas áreas com e sem aplicação de calcário dolomítico. É possível verificar que a MV foi sempre superior na zona corrigida (COR), sendo que no mês de Março, mês onde esta área corrigida da parcela apresentou a maior produtividade (superior a 16 toneladas/ha), essa diferença foi estatisticamente significativa, o que confirma o efeito positivo da calagem. Na zona não corrigida (NCOR), o valor máximo de produtividade em termos de MV foi registado no início do mês de Maio, ainda que este não chegasse a atingir as 10 toneladas/ha.

No que diz respeito à produtividade em termos de MS, a diferença positiva na parcela COR foi revelada apenas entre Março e início de Maio, período de maior produtividade, tendo sido estatisticamente significativa apenas no mês de Março (com uma diferença de aproximadamente 1000 kg/ha).

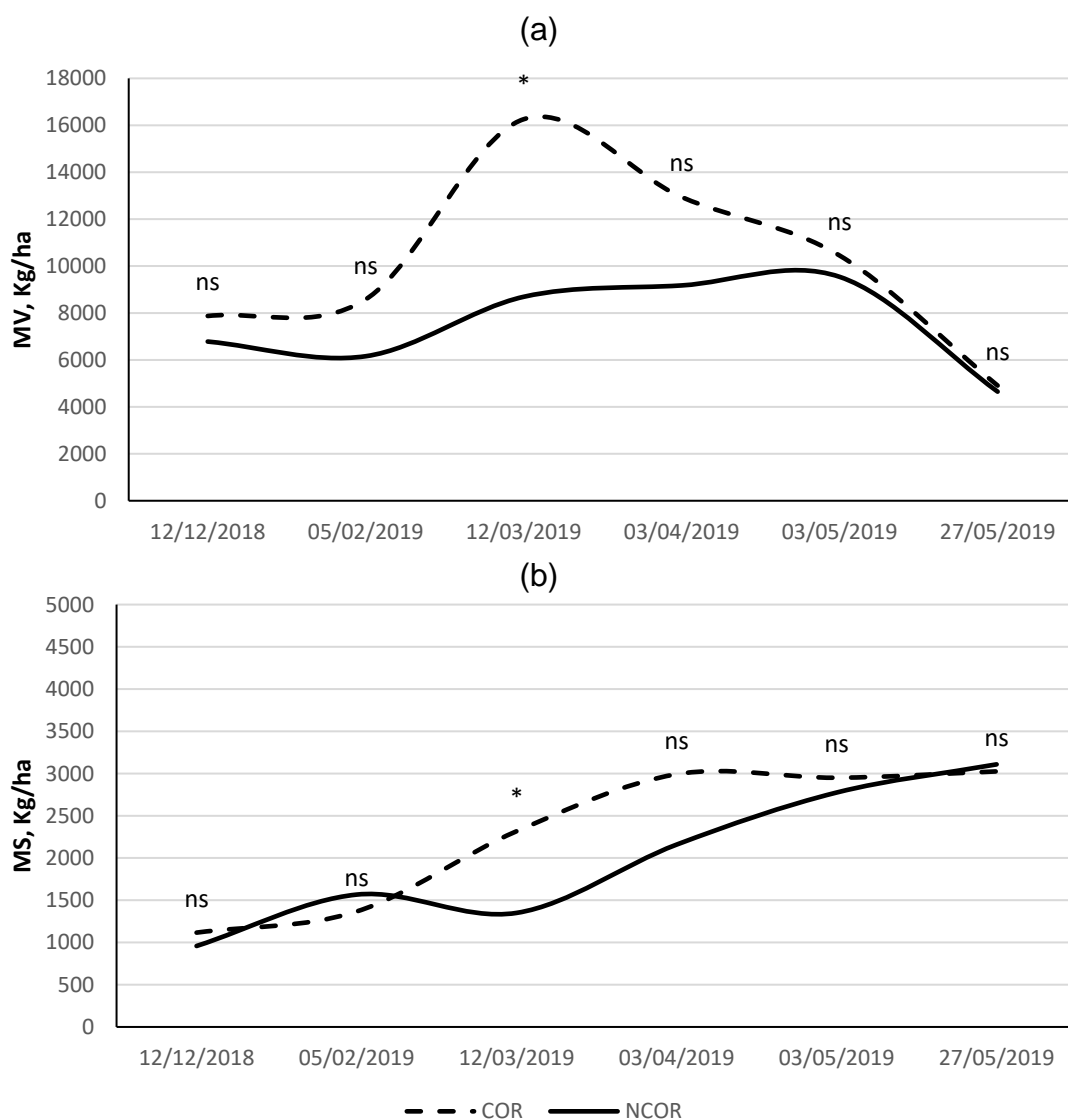


Figura 10. Produtividade da pastagem em termos de matéria verde (MV, (a)) e de matéria seca (MS, (b)), em kg/ha. Comparação entre área corrigida com calcário dolomítico (linha descontinua) e área não corrigida (linha contínua).

ns – Diferenças não significativas; * - Diferenças significativas ($p < 0,05$); COR – Área corrigida com calcário dolomítico; NCOR – Área não corrigida

O efeito positivo da aplicação de calcário dolomítico na produtividade da pastagem, segundo Carvalho *et al.*, (2015), pode dever-se à melhoria na razão Mg/Mn do solo, com o aumento da disponibilidade do primeiro e consequente aumento do valor desta fracção, o efeito da toxicidade do segundo (Mn) foi minimizado. Segundo os mesmos autores, nos Cambissolos, como é o caso do perfil do solo da parcela estudada, a produtividade é condicionada por regimes de precipitação elevados, pela lixiviação do Mg, e consequente aumento do Mn disponível para as plantas, o que poderá explicar o discreto aumento na produtividade da parcela onde foi aplicado o calcário dolomítico nos meses mais chuvosos do ano agrícola 2018/2019 e o aumento verificado entre

ambos os tratamentos no mês de Março, o mês menos chuvoso durante o ciclo produtivo das plantas.

4.2.2 Avaliação da qualidade da pastagem

Tipicamente, a qualidade nutricional das pastagens Mediterrânicas, ao contrário da sua produtividade, segue um padrão decrescente ao longo do ciclo vegetativo, sendo que o maior decréscimo se dá no decorrer do final da Primavera (Efe Serrano, 2006; Ferraz de Oliveira *et al.*, 2013; Serrano *et al.*, 2013). No Quadro 4 apresenta-se o resultado da análise estatística descritiva das variáveis utilizadas para monitorizar a qualidade da pastagem recolhida nos 24 pontos de amostragem. Todos os valores apresentam um intervalo de variação (IV) considerável, o que se pode explicar pela grande heterogeneidade espacial das pastagens Mediterrânicas biodiversas (Efe Serrano, 2006).

Quadro 4. Parâmetros de avaliação da qualidade da pastagem ao longo do ciclo vegetativo 2018/2019.

Parâmetro	Datas	Média±DP	IV
PB, %	12/12/2018	22,8±6,6	[13,4-47,3]
	05/02/2019	17,3±5,8	[7,7-31,6]
	12/03/2019	19,4±5,4	[10,8-31,2]
	03/04/2019	12,6±3,1	[9,1-26,6]
	03/05/2019	12,2±4,5	[7,0-30,7]
	27/05/2019	9,7±3,8	[5,1-34,5]
NDF, %	12/12/2018	49,5±8,3	[28,5-64,5]
	05/02/2019	48,7±11,0	[28,9-71,1]
	12/03/2019	45,9±8,4	[34,2-62,1]
	03/04/2019	48,5±4,2	[42,2-57,5]
	03/05/2019	59,3±4,4	[49,6-65,7]
	27/05/2019	64,6±4,1	[56,0-70,7]
IDQP	12/12/2018	2,3±0,6	[1,1-34,2]
	05/02/2019	3,5±1,8	[0,9-79,2]
	12/03/2019	2,8±1,0	[1,2-45,3]
	03/04/2019	4,2±0,9	[2,6-24,7]
	03/05/2019	5,8±2,2	[2,5-42,6]
	27/05/2019	7,7±2,7	[3,0-46,3]

PB – Proteína bruta, em % da matéria seca; NDF – Fibra (Neutral detergent fiber), em % da matéria seca; IDQP – Índice de degradação da qualidade da pastagem; DP – Desvio padrão; IV – Intervalo de variação.

O teor de proteína bruta (PB), após a primeira avaliação (em Dezembro) sofreu um decréscimo importante (de 22,8 para 17,3%), no entanto, em Março, e contra o que é o padrão normal, a PB voltou a aumentar, o que deverá reflectir o efeito de elevadas quantidades de precipitação que se registaram neste período. A partir daí o teor de PB diminuiu continuamente até ao fim do ciclo vegetativo da pastagem. De sublinhar que, desde cedo no ano, o teor de PB médio da pastagem ficou abaixo dos 15%, valor considerado mínimo para que não seja necessária a suplementação dos animais na fase nutricionalmente mais exigente (Whiteman, 1980).

O teor de fibra (NDF), seguiu o padrão típico para a região Mediterrânica, sofrendo um contínuo aumento ao longo do ciclo vegetativo e com o aproximar dos meses de Verão. Ainda assim, tratando-se de um ano pouco húmido, e tendo em conta que os últimos eventos de precipitação ocorreram no mês de Abril, o teor de NDF desde o início de Maio começou a aumentar rapidamente, levando à redução da digestibilidade da pastagem.

O índice de degradação da qualidade da pastagem (IDQP) evoluiu em crescendo e de forma previsível ao longo do ciclo vegetativo, excepto no mês de Março, como reflexo do comportamento da PB (da subida já referida no mesmo período).

4.2.2.1 Efeito das árvores na qualidade da pastagem

O efeito das árvores foi também notório em termos de qualidade da pastagem. Como se pode verificar na Figura 11, na comparação entre médias nas duas situações (DCA *versus* FCA) as diferenças em ambas as variáveis foram significativas praticamente em todo o ciclo vegetativo, com a PB (Figura 11(a)) a apresentar valores sistematicamente mais elevados nas áreas DCA. Este comportamento é resultado não só do estado fenológico das plantas, ligeiramente menos adiantado DCA, mas também da diferente fertilidade do solo, favorável às zonas DCA (Marcos *et al.*, 2007). A maior fertilidade DCA resulta não só da deposição de folhas e ramos, mas também da permanência preferencial dos animais nestes locais como zonas de bem-estar e abrigo, onde tendem a concentrar os seus dejectos e, conseqüentemente, a aumentar os teores de MO e de alguns nutrientes (Serrano *et al.*, 2016c). Estes resultados confirmam a importância das azinheiras e sobreiros na recuperação dos solos mais inférteis do ecossistema montado (Marcos, *et al.* 2007).

Em termos de NDF (Figura 11 (b)) verificam-se valores mais elevados DCA até ao início de Abril, o que se deve ao sombreamento provocado pela copa das árvores. As plantas nestas áreas têm tendência para alongar os caules em busca de luminosidade, não havendo o correspondente aumento da área foliar, o que leva ao aumento do teor de fibra por unidade de massa de matéria seca produzida, resultado

do aumento dos teores de celulose, de hemicelulose e de lenhina (Paciullo *et al.* 2011). No entanto, no início de Maio a situação inverteu-se, apresentando então as plantas DCA teores de fibra significativamente mais baixos, permanecendo fisiologicamente mais jovens durante mais tempo, o que reforça os resultados obtidos por Benavides *et al.* (2009).

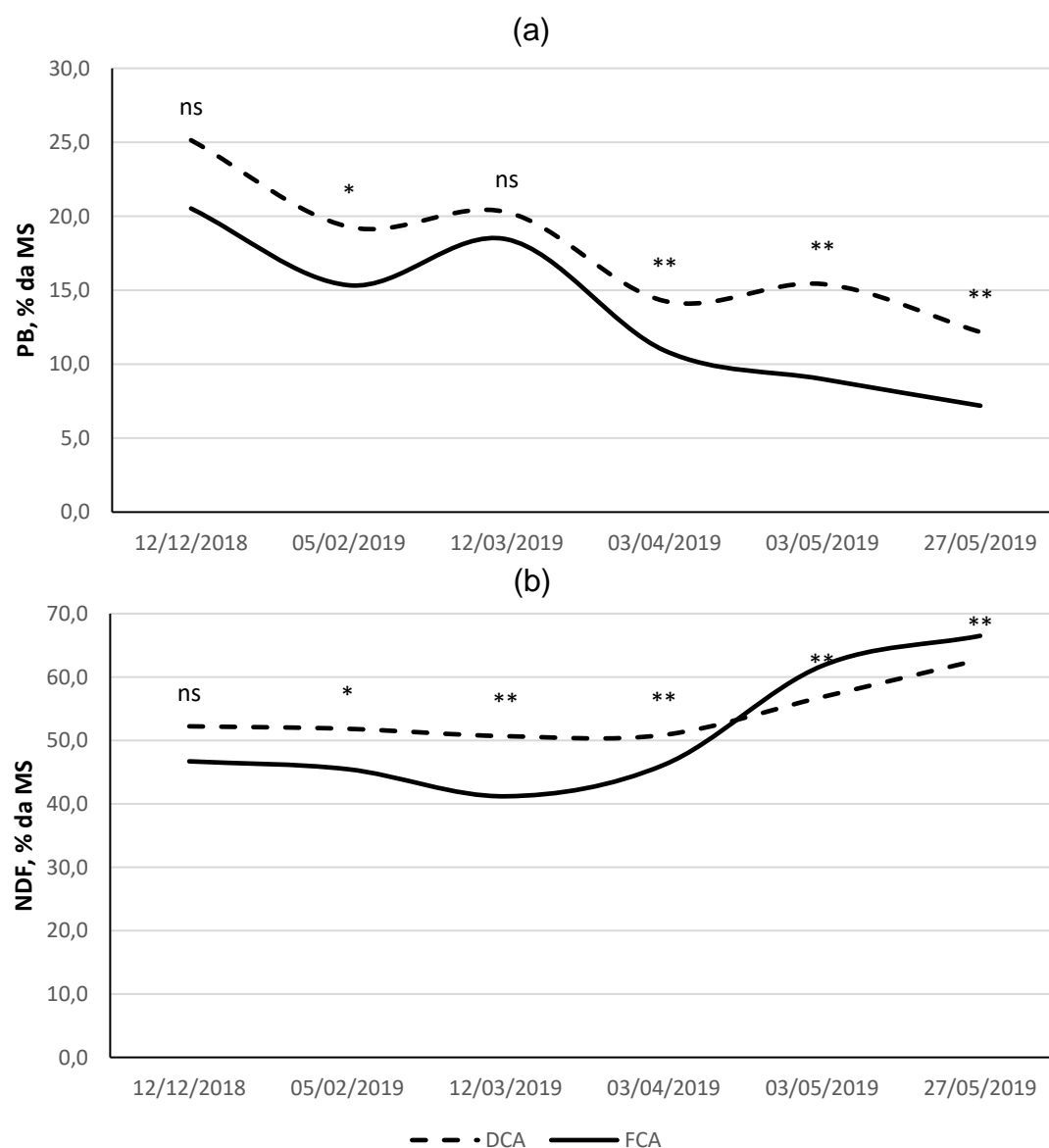


Figura 11. Qualidade da pastagem em proteína bruta (PB, (a)) e em teor de fibra (NDF, (b)), em percentagem da matéria seca (MS). Comparação entre a área debaixo da copa das árvores (linha descontinua) e área fora da copa das árvores (linha contínua).

ns – Diferenças não significativas; * - Diferenças significativas ($p < 0,05$); ** - Diferenças muito significativas ($p < 0,01$); DCA – Debaixo da copa das árvores; FCA – Fora da copa das árvores

4.2.2.2 Efeito da aplicação de calcário dolomítico na qualidade da pastagem

Neste estudo, verificou-se que a aplicação de calcário dolomítico teve um efeito positivo na qualidade da pastagem. Na Figura 12 é apresentada a evolução dos teores de PB (a) e de NDF (b) da pastagem nas áreas com (COR) e sem (NCOR) aplicação de calcário dolomítico. Verifica-se uma tendência ao longo de todo o ciclo vegetativo para valores mais elevados de PB e valores mais baixos de NDF nas áreas COR, apesar das diferenças apenas serem estatisticamente significativas em Fevereiro (na PB) ou Março (no NDF). Estes resultados indiciam o interesse na aplicação de calcário dolomítico como estratégia com efeito positivo na qualidade da pastagem.

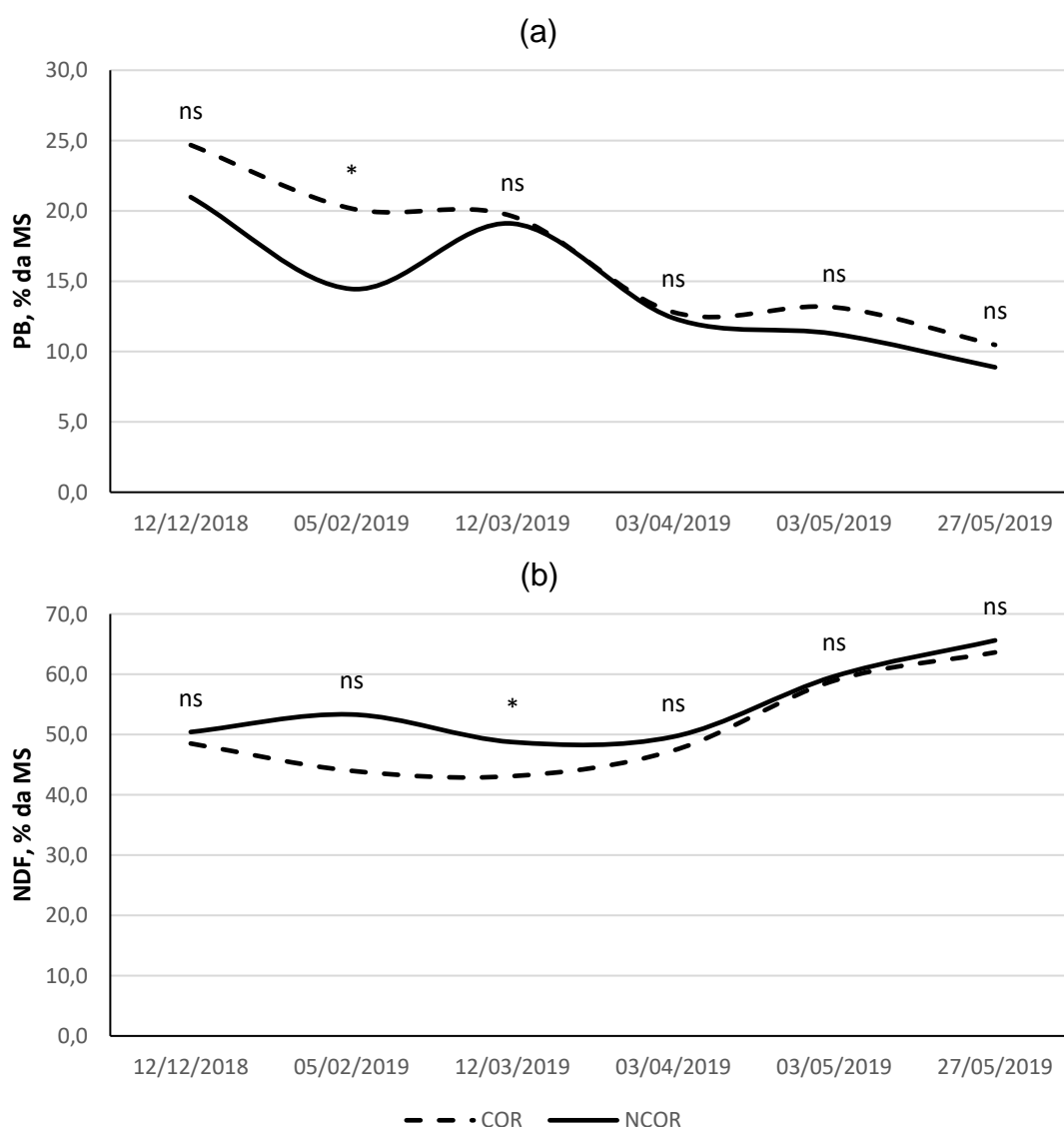


Figura 12. Qualidade da pastagem em proteína bruta (PB, (a)) e em teor de fibra (NDF, (b)), em % da MS. Comparação entre área corrigida com calcário dolomítico (linha descontínua) e área não corrigida (linha contínua).

ns – Diferenças não significativas; * - Diferenças significativas ($p < 0,05$); ** - Diferenças muito significativas ($p < 0,01$); COR – Área corrigida com calcário dolomítico; NCOR – Área não corrigida

4.3 Monitorização da pastagem com sensores próximos

A amostragem tradicional da pastagem, que envolve corte, recolha e processamento laboratorial e cujos resultados constituíram o corpo de análise dos capítulos anteriores, permitiram identificar os padrões de comportamento das variáveis utilizadas. No entanto, este é um método destrutivo e moroso, com custos e exigências que o tornam pouco prático ao nível da exploração agrícola (Pullanagari *et al.*, 2013). Por isso, simultaneamente, foram utilizadas ferramentas expeditas de monitorização da pastagem, procurando-se neste capítulo mostrar o seu potencial de aplicação, validada pelos resultados obtidos através da amostragem tradicional (Serrano *et al.*, 2017).

No Quadro 5 apresentam-se os resultados da análise estatística descritiva referente aos parâmetros medidos através de sensores próximos, nomeadamente a capacitância (CMR) e o NDVI. Apenas foi possível realizar medições com a sonda “Grassmaster II” em 4 das 8 datas de monitorização porque esta sonda não funciona correctamente quando a pastagem se encontra pouco desenvolvida ou com humidade exterior (como aconteceu entre Novembro e Janeiro), ou quando a pastagem se encontra em fase adiantada do seu ciclo vegetativo, com baixos teores de humidade, como aconteceu no final de Maio.

4.3.1 Análise da regressão entre o NDVI e os parâmetros de qualidade da pastagem

O NDVI, por reflectir o vigor vegetativo das plantas (Gitelson, 2004), tende a aumentar nos meses de Outono-Inverno, atingindo um máximo neste caso em Fevereiro. Durante a Primavera, com o evoluir do ciclo vegetativo da pastagem, este índice tende a diminuir, acompanhando a descida do valor nutricional das plantas (Serrano *et al.*, 2016a).

A Figura 13 apresenta a relação entre o NDVI e (i) a HP (Figura 13 (a)); (ii) a PB (Figura 13 (b)); (iii) a fibra (Figura 13 (c)); (iv) o IDQP (Figura 13 (d)). Verificaram-se correlações significativas entre o NDVI e os parâmetros considerados como indicadores da qualidade da pastagem: a correlação foi positiva com a HP ($R^2=0,92$) e com a PB ($R^2=0,51$); e a correlação foi negativa com a fibra (NDF; $R^2=0,65$) e com o IDQP ($R^2=0,78$). Os elevados valores do coeficiente de determinação (R^2) destas relações mostraram a importante percentagem da variância da variável dependente que é explicada pela variância da variável independente, reflectindo a boa aproximação que cada um dos modelos apresentados, baseados no NDVI, fornece na estimativa de parâmetros de qualidade da pastagem.

Quadro 5. Parâmetros de avaliação da pastagem recolhidos através dos sensores “*Grassmaster II*” e “*OptRX*” ao longo do ciclo vegetativo de 2018/2019.

Tratamentos		COR-DCA		COR-FCA		NCOR-DCA		NCOR-FCA	
Parâmetro	Datas	Média±DP	IV	Média±DP	IV	Média±DP	IV	Média±DP	IV
CMR	05/02/2019	4434±835	[3681-5704]	5301±1200	[4004-7036]	4239±590	[3425-5017]	4912±448	[4258-5483]
	12/03/2019	4817±521	[4163-5481]	5533±1080	[4096-7215]	4720±498	[4222-5550]	5851±1122	[4575-7049]
	03/04/2019	4215±557	[3688-5096]	7028±922	[5803-7831]	4581±523	[4007-5282]	7522±1010	[5875-8721]
	03/05/2019	4833±626	[4361-6031]	7037±742	[6357-8482]	4804±636	[3950-5782]	6706±1675	[4586-8678]
NDVI	06/11/2019	0,518±0,114	[0,408-0,718]	0,463±0,048	[0,412-0,528]	0,620±0,064	[0,550-0,719]	0,574±0,084	[0,435-0,652]
	12/12/2018	0,782±0,054	[0,717-0,837]	0,804±0,028	[0,772-0,839]	0,715±0,061	[0,637-0,805]	0,798±0,033	[0,757-0,850]
	10/01/2019	0,799±0,072	[0,707-0,870]	0,801±0,088	[0,661-0,878]	0,771±0,039	[0,711-0,818]	0,760±0,020	[0,733-0,792]
	05/02/2019	0,851±0,042	[0,784-0,900]	0,832±0,025	[0,791-0,865]	0,780±0,024	[0,747-0,803]	0,867±0,015	[0,850-0,882]
	12/03/2019	0,802±0,046	[0,715-0,846]	0,824±0,053	[0,746-0,894]	0,766±0,127	[0,548-0,887]	0,851±0,049	[0,769-0,890]
	03/04/2019	0,611±0,105	[0,434-0,718]	0,698±0,078	[0,615-0,829]	0,587±0,063	[0,514-0,696]	0,728±0,078	[0,622-0,819]
	03/05/2019	0,686±0,057	[0,641-0,796]	0,649±0,077	[0,571-0,773]	0,641±0,080	[0,491-0,720]	0,639±0,052	[0,554-0,690]
	27/05/2019	0,371±0,044	[0,307-0,427]	0,222±0,043	[0,145-0,265]	0,280±0,042	[0,234-0,352]	0,238±0,030	[0,214-0,291]

CMR – Medições com a sonda “*Grassmaster II*”; NDVI – Normalized Difference Vegetation Index; DP – Desvio padrão; IV – Intervalo de variação; COR – área com aplicação de correctivo calcário; NCOR – Área sem aplicação de correctivo calcário; DCA – Debaixo da copa das árvores; FCA – Fora da copa das árvores.

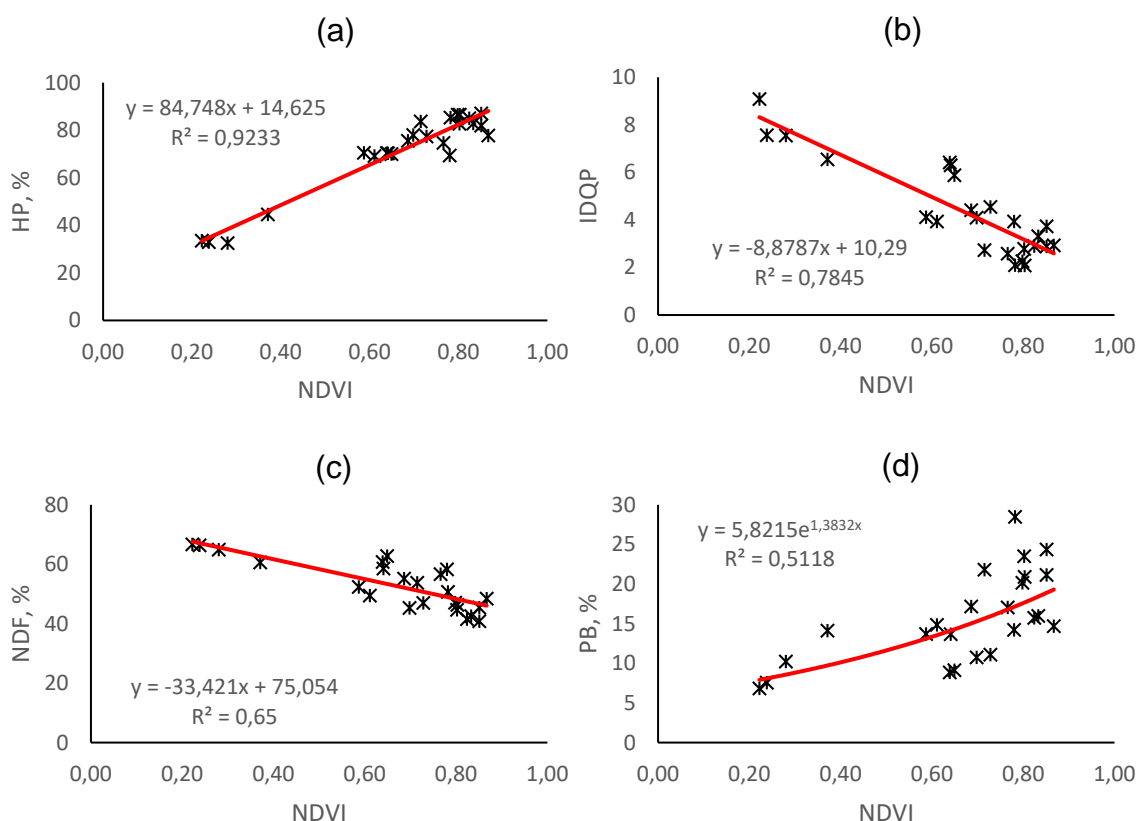


Figura 13. Relação entre o índice de vegetação (NDVI, Normalized Difference Vegetation Index) e (a) a humidade da pastagem (HP); (b) o índice de degradação da qualidade da pastagem (IDQP); (c) a fibra (NDF); (d) a proteína bruta (PB).

Em resumo, a utilização do sensor próximo “OptRx” na leitura do NDVI permite aceder a informação importante e fidedigna sobre a qualidade nutricional da pastagem, bem como do seu estado fenológico e sanitário, permitindo uma rápida monitorização para efeitos de apoio à tomada de decisão. Este conhecimento ganha ainda maior ênfase se tivermos em conta que estão disponíveis imagens de satélite (por exemplo, do “Sentinel-2”) que permitem obter este mesmo índice, entre outros, com uma resolução espacial de 10 m e uma resolução temporal de 5 dias e cuja obtenção pode ser feita sem a necessidade de deslocação de técnicos ao campo (Pullanagari *et al.*, 2013; Serrano *et al.*, 2019).

4.3.2 Análise de regressão entre a capacitância (CMR) e a produtividade da pastagem

A leitura da capacitância (CMR) através da sonda “Grassmaster II” revelou-se igualmente uma ótima ferramenta de monitorização da pastagem, tal como Barreto (2015) e Serrano *et al.* (2016a, b) já haviam demonstrado. Desta vez, os valores correlacionaram-se mais fortemente com os parâmetros de produtividade, sendo os

gráficos apresentados nas Figuras 14 e 15. Pela leitura do Quadro 5 verifica-se que os valores de CMR não evoluíram de forma constante nos vários tratamentos do ensaio. Enquanto que DCA, quer na parcela corrigida, quer na não corrigida, o valor da capacitância aumentou entre Fevereiro e Março, diminuiu entre Março e Abril e voltou a aumentar entre Abril e Maio. Nas zonas FCA a capacitância aumentou entre Fevereiro e Abril, sendo que no mês de Maio, na parcela COR, permaneceu praticamente constante, e na parcela NCOR, diminuiu neste mesmo mês.

Relativamente à produtividade em termos de MS, o modelo mostrado na Figura 14 apresenta um coeficiente de determinação de 0,76. Esta boa correlação evidencia que o valor de capacitância permite inferir objectivamente sobre a produtividade da pastagem.

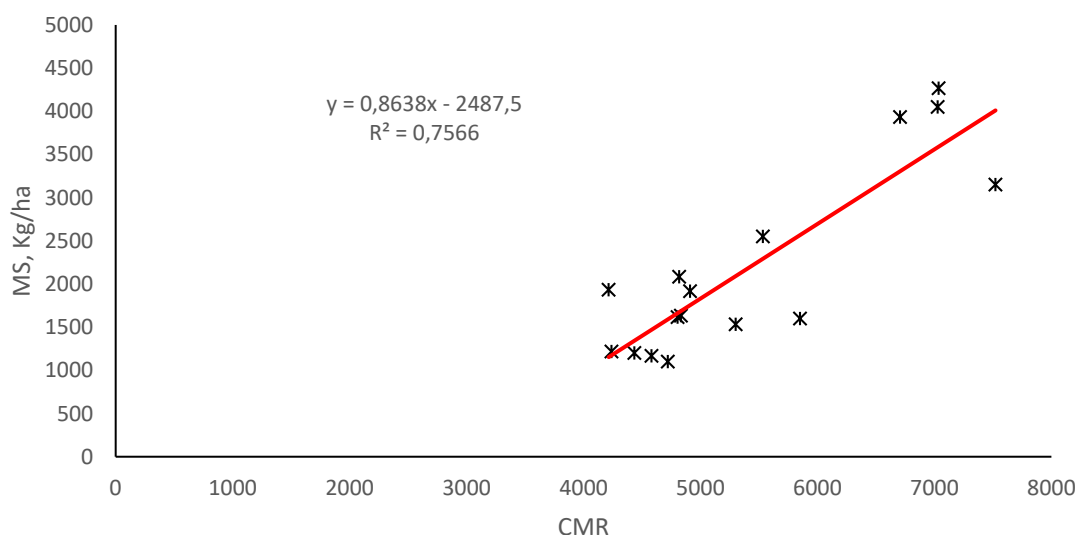


Figura 14. Correlação entre a capacitância e a produtividade da pastagem em MS.

MS – Matéria seca; CMR - Capacitância

A correlação entre a capacitância e a produtividade da pastagem em termos de MV não se revelou tão forte como em termos de MS, analisada anteriormente. Ainda assim, os valores obtidos permitem uma razoável precisão no acompanhamento expedito e de forma não destrutiva da evolução da pastagem.

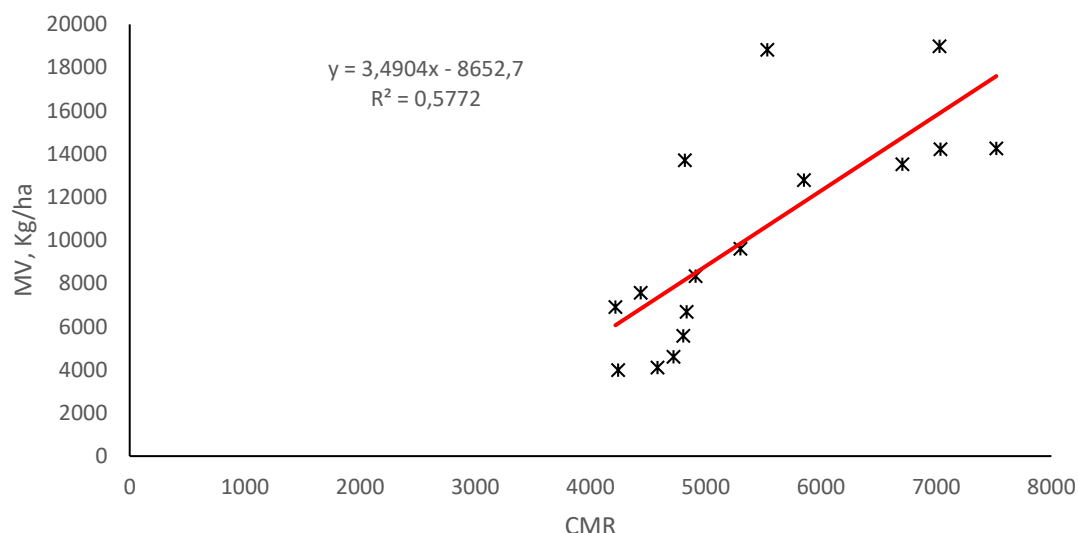


Figura 15. Correlação entre a capacitância e a produtividade da pastagem em MV.

MV – Matéria verde; CMR - Capacitância

O uso deste sensor, neste estudo, revela-se muito pertinente na obtenção de informação acerca da produtividade da pastagem, sobretudo em termos de MS. Serrano *et al.* (2016b) mostraram que os coeficientes de determinação mais altos entre a capacitância e a produtividade se verificam sobretudo nos meses de Março/Abril. No entanto, com a descida do teor de HP, a partir do mês de Maio, o rigor nas estimativas obtidas através da sonda “*Grassmaster II*”, tende a decrescer, o que se pode explicar pelo seu princípio de funcionamento, baseado no teor de humidade da pastagem.

5. Conclusões

A sustentabilidade ambiental e económica do ecossistema Montado deve assentar numa gestão equilibrada a vários níveis, desde a recuperação da fertilidade do solo, da promoção da biodiversidade e produtividade das pastagens, passando pela regeneração do substrato arbóreo e pelo pastoreio animal dinâmico.

Este estudo avaliou o efeito da aplicação de calcário dolomítico numa parcela de pastagem permanente biodiversa de sequeiro instalada em solos ácidos. Simultaneamente, foi feita uma apreciação relativa à influência da presença de árvores, neste caso azinheiras (*Quercus ilex* spp. *rotundifolia* Lam.) no desenvolvimento (quantitativo e qualitativo) da pastagem. Pela importância que a monitorização das pastagens tem na gestão dos sistemas extensivos de produção pecuária, baseada essencialmente na estimativa de produtividade, foram também avaliadas tecnologias com potencial para monitorizar de forma expedita e com um grau de aproximação aceitável o desenvolvimento da pastagem ao longo do seu ciclo vegetativo.

O efeito da aplicação de calcário dolomítico revelou-se obviamente benéfico para o solo, tendo-se reflectido na melhoria da produtividade, da qualidade e da composição florística da pastagem no ano agrícola de 2018/2019. Após a aplicação do correctivo calcário, verificou-se uma redução clara da presença da margaça (*Chamaemelum fuscatum*), espécie indicadora do excesso de manganês no solo. A melhoria das condições de fertilidade do solo permitiu que espécies de maior interesse agronómico, as gramíneas em geral e a grizanda (*Diplotaxis catholica*) em particular, ganhassem capacidade competitiva. Como o processo de correcção da acidez do solo é reconhecidamente lento e gradual, será de esperar que no ano agrícola em curso (2019/2020) se mantenha a trajectória de evolução da produtividade e da qualidade desta pastagem em resultado de nova aplicação de calcário dolomítico realizada em Junho de 2019.

O efeito das árvores revelou-se interessante para o solo, com as áreas debaixo das suas copas a apresentarem maior fertilidade (com valores significativamente mais altos de matéria orgânica, de azoto, fósforo, potássio e de magnésio) do que as áreas fora do efeito da copa. Contudo, a produtividade da pastagem foi mais elevada nas áreas fora da copa das árvores. A competição hídrica entre raízes do estrato arbóreo e do estrato herbáceo, e a inevitável redução da radiação fotossinteticamente activa que chega ao substrato herbáceo debaixo das copas das árvores (sobretudo nos dias de inverno), estão na base da explicação deste efeito negativo na produtividade.

Em termos qualitativos, a pastagem apresentou, para a mesma data, valores mais elevados de proteína bruta debaixo da copa das árvores. O efeito de

sombreamento proporcionado pela copa das árvores sobre as plantas do estrato herbáceo terá levado a atrasar e a prolongar o seu ciclo vegetativo, permanecendo, por isso, menos desenvolvidas fisiologicamente e mantendo níveis metabólicos mais altos do que as plantas da área fora do efeito da copa das árvores.

A utilização de ferramentas expeditas na monitorização da pastagem conduziu a resultados muito interessantes e com potencial prático de aplicação. Dada a grande variabilidade espacial e temporal das parcelas de pastagem sob pastoreio extensivo, e atendendo à dimensão de algumas delas, o uso de sensores próximos pode dar resposta no sentido de permitir a formulação de novas estratégias de gestão, definir a rotatividade do pastoreio entre parcelas, estimar produtividades e prever necessidades de suplementação alimentar dos animais. O sensor óptico “OptRx®”, utilizado neste trabalho para obtenção do índice de vegetação (NDVI) das pastagens, mostrou interesse na estimativa da qualidade, enquanto a sonda de capacitância “*Grassmaster II*” mostrou potencial na estimativa da produtividade da pastagem. Parece estar lançado o desafio para a utilização de plataformas móveis multi-sensores, os quais poderão complementar as aplicações de detecção remota proporcionadas pela disponibilidade de imagens de satélite na obtenção de índices de interesse agronómico.

Em jeito de resumo e de perspectivas, os resultados obtidos apontam para que a aplicação de calcário dolomítico tenha levado à clara diminuição da toxicidade provocada pelo manganês debaixo da copa das árvores, locais onde à partida o solo apresentava maior fertilidade. No entanto, nas áreas fora do efeito da copa das árvores, a situação apesar de ter evoluído favoravelmente, não ficou resolvida. Podem indicar-se como possíveis causas: (i) a dose de calcário aplicada ter sido insuficiente, justificando a nova aplicação realizada em Junho de 2019; (ii) não havendo mobilização do solo e atendendo a que a aplicação do calcário foi efectuada em forma de cobertura superficial, a sua actuação é relativamente lenta, e pode ainda não ter decorrido o intervalo de tempo necessário para se reflectir em significativa alteração da reacção do solo; (iii) o banco de sementes de espécies resistentes à toxicidade do manganês (como é o caso da margaça) pode estar ainda a manifestar-se; iv) dado que este é um ecossistema complexo, todas as causas anteriores podem estar a actuar em simultâneo. A continuação deste estudo perspectiva-se como fundamental para que se entenda a dinâmica das espécies espontâneas que surgem ano após ano e se verifique se estão reunidas as condições para que outras espécies de valor superior, como as leguminosas, consigam integrar-se na composição da pastagem.

Referências Bibliográficas

- Andrade, C., Valentim, J. e Carneiro, J. (2002). Árvores de Baginha (*Stryphnodendron guianense* (Aubl.) Benth.) em Ecossistemas de Pastagens Cultivadas na Amazônia Ocidental. *Revista Brasileira Zootecnia*, 31(2): 574-582.
- Andrade, J., Basch, G. (2017). In *Hidrologia Agrícola*, 2ª edição. Guimarães, R. C., Shahidian, S. e Rodrigues, C. M. (eds). ECT e ICAAM. Évora, 215-234 pp.
- AOAC International (2005). *Official Methods of Analysis of AOAC International*. 18th edition. AOAC International, Arlington, VA, USA.
- Barreto, S. (2015). *Avaliação da variabilidade espacial numa pastagem permanente: novas tecnologias de apoio à gestão do ecossistema solo-planta-animal*. Dissertação de Mestrado. Universidade de Évora, Évora.
- Barros, J., Freixial, R. (2012a). *Pastagens*. Universidade de Évora, Departamento de Fitotecnia. Évora.
- Barros, J., Freixial, R. (2012b). *Forragens*. Universidade de Évora, Departamento de Fitotecnia. Évora.
- Benavides, R., Douglas G. B. e Osoro K. (2009). Silvopastoralism in New Zealand: review of effects of evergreen and deciduous trees on pasture dynamics. *Agroforestry Systems*, 76: 327– 350.
- Bonetti, R., L. A. Oliveira e Magalhães F. M. M. (1984). População de *rhizobium spp.* e ocorrência de micorriza v.a. em cultivos de essências florestais. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 19: 137-142. Brasília, Brasil.
- Carmona Belo, C., Pereira, M. S., Felício, N., Madalena, J. e Domingos, T., (2008). Sistemas de produção animal extensivos. A pastorícia e os produtos de qualidade. Alentejo e serra da Estrela. In *A Silvopastorícia na Prevenção dos Fogos Rurais*. M. Belo Moreira e I. Seita Coelho (eds.), pp. 177-196. ISA Press, Lisboa.
- Carneiro, J. P. e Barradas, A., (2008). Melhoria de pastagens de sequeiro. *Vida Rural* 1739: 32-34.
- Carvalho, M. (2001). Importância da sombra natural em pastagens cultivadas. *Embrapa Gado de Leite*, 24.

- Carvalho, M., Freitas, V. e Xavier, D. (2002). Início de florescimento, produção e valor nutritivo de gramíneas forrageiras tropicais sob condição de sombreamento natural. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 37(5): 717- 722.
- Carvalho, M.; Goss, M. J. e Teixeira, D. (2015). Manganese toxicity in Portuguese Cambisols derived from granitic rocks: causes, limitations of soil analyses and possible solutions. *Revista de Ciências Agrárias*, 38(4): 518-527.
- Cosentino, S. L., Gresta, F. e Testa, G., (2013). Forage chain arrangement for sustainable livestock systems in Mediterranean area. *Grass and Forage Science*, 69: 625-634.
- Crespo, D. G. (1995). Pastagens, forragens e produção animal: sistemas intensivos versus extensivos. *Pastagens e Forragens*, 16: 61-73.
- Crespo, D. G., (2011). Em tempos de crise qual o papel das pastagens e forragens no desenvolvimento da agricultura. *Agrotec: Revista técnico-científica agrícola*, 1: 30-32.
- David, T. S., Pinto, C. A., Nadezhina, N., Kurz-Besson, C., Henriques, M. O., Quilhó, T., Chaves, M. M., Pereira, J. S. e David, J. S. (2013) – Root functioning, tree water use and hydraulic redistribution in *Quercus suber* trees: A modeling approach based on root sap flow. *Forest Ecology and Management*, 307: 136-146.
- Demagnet, R., Mora M. L., Herrera M. A., Miranda H. e Barea J. M. (2015). Seasonal variation of the productivity and quality of permanent pastures in adisols of temperate regions. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 15(1): 111–128.
- Douglas G.B., Walcroft A.S., Hurst S.E., Potter J.F., Foote A.G., Fung L.E., Edwards W.R.N. e Van Den Dijssel C. (2006). Interactions between widely spaced young poplars (*Populus* spp.) and the understorey environment. *Agroforestry Systems* 67: 177–186.
- Edirisinghe, A., Hill M. J., Donald G. E., e Hyder M. (2011). Quantitative Mapping of Pasture Biomass Using Satellite Imagery. *International Journal of Remote Sensing*, 32(10): 2699–2724.
- Efe Serrano, J. (2006). *Pastagens do Alentejo: bases técnicas sobre caracterização, pastoreio e melhoramento*. Universidade de Évora - ICAAM, Évora. 165-219 pp.
- FAO (2006) - *World reference base for soil resources*, 2ª edição. World Soil Resources Reports 103. Rome, FAO, 128 p.

- Feio, M. (1991). Enquadramento. *In Clima e agricultura*. Ministério da Agricultura, Pescas e Alimentação. Lisboa: Euro-Dois, LDA.
- Fenton R., James R.N., Knowles R.L. e Sutton W.R.J. (1972). Growth, silviculture and the implications of two tending regimes for radiata pine. *In Proceedings of the 7th geography conference*. NZ Geographical Society (Inc.), 15–22 pp.
- García Fuentes, A., Salazar, C., Torres, J. A., Marchar, F.M. e Cano, E., (2000). Comunidades de interés pascícola en los territorios semiáridos de la provincia de Jaén (Sur de España). *Proceedings of 3ª Reunión Ibérica de Pastagens e Forragens*, Consellería de Agricultura, Gandería e Política Agroalimentaria (ed.), Xunta de Galicia, Espanha. 79-84 pp.
- Gardner, A. L. (1967). *Estudio sobre los métodos agronómicos para la evaluación de las pasturas*. Centro de investigación y enseñanza para la zona templada del instituto interamericano de ciencias agrícolas de la O.E.A.
- Gillingham, A. G., (2001). Precision management of fertiliser application to pasture. *Proceedings of the First Australian Geospatial Information and Agriculture Conference*, NSW Agriculture (ed.), Sydney, Austrália. 534- 541 pp.
- Gitelson, A. A. (2004). Wide dynamic range vegetation index for remote quantification of biophysical characteristics of vegetation. *Journal of Plant Physiology*, 161(2), 165– 173.
- Gómez-Rey, M. X., Garcês, A. e Madeira, M. (2012) – Soil organic-C accumulation and N availability under improved pastures established in Mediterranean oak woodlands. *Soil use and management*, 28(4): 497-507.
- Guevara-Escobar A., Kemp P.D., Mackay A.D. e Hodgson J. (2002). Soil properties of a widely spaced, planted poplar (*Populus deltoides*) - pasture system in a hill environment. *Australian Journal of Soil Research*, 40: 873–886.
- Guevara-Escobar A., Kemp P. D., Mackay A. D. e Hodgson J. (2007). Pasture production and composition under poplar in a hill environment in New Zealand. *Agroforestry Systems*, 69(3): 199–213.
- Handcock, R. N., D. L. Gobbett, L. A. González, G. J. Bishop-Hurley, e S. L. McGavin. (2016). A Pilot Project Combining Multispectral Proximal Sensors and Digital Cameras for Monitoring Tropical Pastures. *Biogeosciences*, 13, 4673–4695 pp.

- Hawke M.F. e Wedderburn M.E. (1994). Microclimate changes under *Pinus radiata* agroforestry regimes in New Zealand. *Agricultural and Forest Meteorology*, 71: 133–145.
- IPMA, I. P. (Instituto Português do Mar e da Atmosfera, I. P.) (2019). *Resumo climatológico Junho de 2019*. Instituto Português do Mar e da Atmosfera, I. P., Lisboa, Portugal.
- INE, I. P. (Instituto Nacional de Estatística), (2011). *Recenseamento Agrícola 2009. Análise dos Principais Resultados. Edição 2011*. Instituto Nacional de Estatística I. P., Lisboa, Portugal. pp. 185.
- Jackson, J. e Ash, A. J. (1998). Tree-grass relationships in open eucalypt woodlands of northeastern Australia: influence of trees on pasture productivity, forage quality and species distribution. *Agroforestry Systems*, 40(2): 159-176.
- Knowles R.L. (1991). New Zealand experience with silvopastoral systems: a review. *Forest Ecology and Management*, 45: 251–267.
- Lee, J.M., Matthew, C., Thom, E.R. e Chapman, D.F. (2012). Perennial ryegrass breeding in New Zealand: A dairy industry perspective. *Crop Pasture Science*, 63: 107–127.
- Lin, Z., Cogan, N.O., Pembleton, L.W., Spangenberg, G.C., Forster, J.W., Hayes, B.J. e Daetwyler, H.D. (2016). Genetic gain and inbreeding from genomic selection in a simulated commercial breeding program for perennial ryegrass. *The Plant Genome*, 9(1).
- Lopes, P. M. S., Goulão, J. N. P. e Cortez, N. R. S. (1998). A utilização de pastagens e forragens e a conservação do solo: exemplos da erosão verificada num solo litólico não húmico de xisto mosqueado na região de Castelo Branco. *Pastagens e Forragens*, 19: 61-71.
- Malavolta, E. (2006). Manual de nutrição mineral de plantas. Piracicaba, Brasil. 631 p.
- Mallarino, A.P. e Wittery, D.J. (2004). Efficacy of grid and zone soil sampling approaches for site-specific assessment of phosphorus, potassium, pH, and organic matter. *Precision Agriculture*, 5(2): 131-144.
- Marcos, G. M., Obrador J. J., Garcia E., Cubera E., Montero M. J., Pulido F. e Dupraz C. (2007). Driving competitive and facilitative interactions in oak *Dehesas* through management practices. *Agroforestry Systems*, 70(1): 25–40.

- Marschner, H. (1986) - *Mineral nutrition of higher plants*. London, Academic Press, 674 p.
- Medeiros, J. C., Albuquerque J. A., Mafra A. L., Rosa J. D. e Gatiboni L. C. (2008). Relação cálcio:magnésio do corretivo da acidez do solo na nutrição e no desenvolvimento inicial de plantas de milho em um Cambissolo Húmico Álico. *Ciências Agrárias*, 29(4):799-806. Londrina, Brasil.
- Moreira, N. (2002). *Agronomia das forragens e pastagens*. Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, Vila Real.
- Moule, C. (1971). *Céréales*. Librairie Agricole, Horticole, Forestière et Ménagère. La Maison Rustique. Paris, França.
- Oliver, L., Pérez-Cormona, M. E. e Bermúdez de Castro, F., 2000. Descomposición de hojarasca de leguminosas y gramíneas en un pastizal oligotrófico mediterráneo. *Proceedings of 3ª Reunión Ibérica de Pastagens e 67 Forragens*, Consellería de Agricultura, Gandería e Política Agroalimentaria (ed.), Xunta de Galicia, Espanha. pp. 153-158.
- Paciullo, D., de Miranda Gomide, C., de Castro, C., Fernandes, P., Müller, M., Pires, M., Fernandes, E. e Xavier, D. (2011). Características produtivas e nutricionais do pasto em sistema agrossilvipastoril, conforme a distância das árvores. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 46(10): 1176-1183.
- Paço, T. A., David T. S., Henriques M. O., Pereira J. S., Valente F., Banza J., Pereira F. L., Pinto C. e David J. S. (2009). Evapotranspiration from a Mediterranean evergreen oak savannah: The role of trees and pasture. *Journal of Hydrology*, 369: 98–106.
- Pedreira, C. (2002). Avanços metodológicos na avaliação de pastagens. *Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Zootecnia*, 39: 100-150.
- Percival H.J., Hawke M.F. e Andrew B.L. (1984). Preliminary report on climate measurements under *Pinus radiata* planted on farmland. In *Proceedings of a technical workshop on agroforestry*. Bilbrough G.W. (ed.) Ministry of Agriculture and Fisheries, Wellington, 57–60 pp.
- Porter, T., Chen, C., Long, J., Lawrence, R. e Sowell, B. (2014). Estimating biomass on CRP pastureland: A comparison of remote sensing techniques. *Biomass and Bioenergy*, 66: 268-274.

- Potes, J. M., (2010). A sustentabilidade ambiental do ecossistema montado. *Proceedings of 4ª Reunião Ibérica de Pastagens e Forragens*, A. C. Suárez, R. G. Navarro, A. R. Mantecón e R. P. Suárez (eds.), León, Espanha. pp. 65-74
- Potes, J. (2011). *O Montado no Portugal Mediterrânico*. Edições Colibri, Santarém. 211 pp.
- Pullanagari, R. R., Yule, I., King, W., Dalley, D. e Dynes, R. (2011). The use of optical sensors to estimate pasture quality. *International Journal on Smart Sensing and Intelligent Systems*, 4(1), 125-137.
- Pullanagari, R. R., Yule, I. J., Tuohy, M.P., Hedley, M.J., Dynes, R. A. e King, W. M., (2013). Proximal sensing of the seasonal variability of pasture nutritive value using multispectral radiometry. *Grass forage science*, 68(1): 110-119.
- Riday, H. (2009). Correlations between visual biomass scores and forage yield in space planted red clover (*Trifolium pratense* L.) breeding nurseries. *Euphytica*, 170(3): 339–345.
- Sequeira, E. M. (1997). As pastagens, a nova PAC e o ambiente no Alentejo. *Pastagens e Forragens*, 18: 49-74.
- Serrano, J. M. e Peça, J. O., (2009a). Novas tecnologias na distribuição diferenciada de fertilizantes em pastagens: o fechar de um ciclo em Agricultura de Precisão. *Inovação e Tecnologia na Formação Agrícola - Agricultura de Precisão*, J. P. C. Coelho e J. R. Marques da Silva (eds.), pp. 105-125. Associação dos Jovens Agricultores de Portugal, Lisboa.
- Serrano, J. M., Peça, J. M., Marques da Silva, J. R., Sousa, A., Palma, P. M., Shahidian, S. e Carvalho, M. J., (2009b). Avaliação da variabilidade das características do solo numa pastagem permanente integrada num projecto de Agricultura de Precisão. *Proceedings of II Congreso Ibérico y V Congreso Nacional de AgroIngeniería*, Lugo, Espanha.
- Serrano, J. M., Peça, J. O., Shahidian, S. e Silva, J. M., (2012). Efeito da topografia na estabilidade temporal dos parâmetros do solo numa pastagem permanente mediterrânica. *Revista de Ciências Agrárias*, 35(6): 59-68.
- Serrano, J., S. Shahidian, e J. Marques Da Silva. (2013). Small scale soil variation and its effect on pasture yield in southern Portugal. *Geoderma*, 195–196:173–183.

- Serrano, J., Peça, J., Silva, J. M. D. e Shahidian, S. (2014). Avaliação de tecnologias para aplicação diferenciada de fertilizantes: novos conceitos de gestão em pastagens permanentes. *Revista de Ciências Agrárias*, 37(3): 253-269.
- Serrano, J., Silva, J. M. D., Shahidian, S. e Carvalho, M. D. (2015). Variabilidade espacial e estabilidade temporal do carbono orgânico do solo num sistema silvo-pastoril Mediterrânico. *Revista de Ciências Agrárias*, 38(4): 563-573.
- Serrano, J., Shahidian, S. e Silva, J. (2016a). Monitoring pasture variability: optical OptRx® crop sensor versus Grassmaster II capacitance probe. *Environmental Monitoring and Assessment*, 188(2): 1-17.
- Serrano, J., Shahidian, S. e Silva, J. (2016b). Calibration of Grassmaster II to estimate green and dry matter yield in Mediterranean pastures: effects of pasture moisture content. *Crop & Pasture Science*, 67, 780-791.
- Serrano, J., Shahidian, S., Silva, J., Sales-Baptista, E., Ferraz de Oliveira, I., Pereira, A., Lopes de Castro, J., Sobral, P., Santana, J., Machado, E. e Carvalho, M. (2016c). Effect of trees in the soil nutrient concentration and pasture productivity in Mediterranean silvo-pastoral systems. *In Livro de resumos do World Congress Silvo-Pastoral Systems*, (p. 303). Évora, 27-30 de Setembro de 2016.
- Serrano, J., Shahidian, S., Silva, J., Sales-Baptista, E., Ferraz de Oliveira, I., Lopes de Castro, J., Pereira, A., Cancela de Abreu, M., Machado, E. e Carvalho, M. (2017). Tree influence on soil and pasture: contribution of proximal sensing to pasture productivity and quality estimation in montado ecosystems. *International Journal of Remote Sensing* 39(14): 4801-4829.
- Serrano, J., Sales-Baptista, E., Shahidian, S., Marques da Silva, J., Ferraz de Oliveira, I., Lopes de Castro, J., Pereira, A., Cancela d'Abreu, M. e Carvalho, M. (2018a) Proximal sensors for monitoring seasonal changes of feeding sites selected by grazing ewes. *Agroforestry Systems*, 71(3): 1-15.
- Serrano, J., Shahidian, S., Silva, J., Machado, E. e Carvalho, M. (2018b). Avaliação do efeito das árvores sobre a produtividade e sobre a qualidade da pastagem no ecossistema *montado*: estudo de caso. *Revista de ciências agrárias*, 41(1): 72-81.
- Serrano, J., Shahidian, S., Silva, J., (2019). Evaluation of Normalized Difference Water Index as a tool for monitoring pasture seasonal and inter-annual variability in a Mediterranean agro-silvo-pastoral system. *Water* 2019, 11(62).

- Simões, N. M., Pereira, M. S., Quintas, A., Barradas, A. M., Vicente, C., Belo, C. C. e Tavares de Sousa, M. M., (2006). Annual legume species for improvement of pastures. *Animal Products from Mediterranean área*, J. M. C. Ramalho Ribeiro, A. E. M. Horta, C. Mosconi e A. Rosati (eds.), pp. 43-51. Wagening Academic Publishers, Santarém, Portugal.
- Smith, K.F., Tasneem, M., Kearney, G.A., Reed, K.F.M. e Leonforte, A. (2001). Evaluation of herbage yield in a forage grass breeding program: Comparison of visual rating versus measurement in single-row plots or swards. *Animal Production Science*, 41: 1161–1166.
- Sobral, P. (2016). *Avaliação de tecnologias para monitorizar a influência das árvores na evolução do padrão espacial de pastagens sob montado*. Dissertação de Mestrado. Évora, 2016.
- Sousa, L., Maurício, R., Moreira, G., Gonçalves, L., Borges, I. e Pereira, L. (2010). Nutritional evaluation of “Braquiarão” grass in association with “Aroeira” trees in a silvopastoral system. *Agroforest Systems*, 79: 189- 199.
- SROA (Serviço de Reconhecimento e Ordenamento Agrário), (1969). *Carta de solos de Portugal*. Lisboa: Litografia de Portugal.
- Starks, P., Zhao, D., Phillips, W., Coleman, S. (2006). Development of canopy reflectance algorithms for real-time Prediction of Bermudagrass Pasture Biomass and Nutritive Values. *Crop Science*, 46: 927-934.
- Whiteman, P. C. (1980). *Tropical pasture science*. New York: Oxford University Press. p. 392.
- Yule, I., Pullanagari R., Irwin M., McVeagh P., Kereszturi G., White M. e Manning M. (2015). Mapping nutrient concentration in pasture using hyperspectral imaging. *Journal of New Zealand Grasslands*, 77: 47–50.
- Zanine, A., Santos, E., Ferreira, D. (2006). Principales métodos de evaluación de pasturas. *REDVET: Revista electrónica de Veterinária*, VII: 1 - 13.